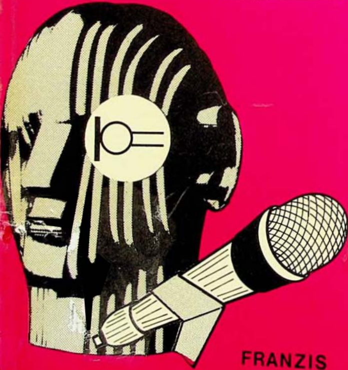
Fritz Kühne

Mikrofone

Aufbau, Anwendung und Selbstbau von Mono-, Stereo-, Kunstkopf- und Transistor-Mikrofonen

RPB
electronic-
taschen-
bucher
11



FRANZIS

RPB electronic-taschenbücher Titelverzeichnis

Jeder Einfach-Band umfaßt etwa 60–70 Seiten, enthält bis zu 70 Bilder und Tabellen. Mehrfach-Bände entsprechend. Die Nummer vor dem Titel ist die Bestell-Nummer. Preisänderungen und Liefermöglichkeiten vorbehalten.

Preise: Einfachband (•) DM 3.80; Doppelband (• •) DM 6.80; Dreifachband (• • •) DM 8.80; Vierfachband (• • • •) DM 11.80.

6 Antennen für Rundfunk- und Fernseh-Empfang (Mende). 14. Aufl.

7 • Niederfrequenz-Verstärker mit Röhren und Transistoren (Kühne). 14. Aufl.

9 • • Tonbandgeräte-Praxis (Junghans). 11. Aufl.

11 • • • Mikrofone (Kühne). 9. Aufl.

16 • Widerstandskunde für Radio-Praktiker (Hoffmeister). 6. Aufl.

19 • • • Optoelektronik (Retheiser/Pichler).

20 • • Methodische Fehlersuche in Rundfunkempfängern (Renardy/Lummer). 13. Aufl.

22 • • Lehrgang Radiotechnik Band I (Jacobs). 11. Aufl.

24 • • • desgl., Band II (Jacobs). 7. Aufl.

27 • • Rundfunkempfang mit Transistoren und Detektoren (Mende). 13. Aufl.

29 • • • Kleines ABC der Elektroakustik (Büscher). 6. Aufl.

31 • • Sender-Baubuch für Kurzwellen-Amateure I. Teil (Steinhauser). 10. Aufl.

34 • • • Von der Mengenlehre zur Schaltalgebra (Siegfried).

35 • • Systemanalyse und System-Design (Lewandowski).

38 • • • • SSB- und ISB-Technik (Pelka).

40 • Fachwörter der Elektronik (Franz).

41 • • Kurzwellen- und UKW-Empfänger für Amateure Band 1. Geradeausempfänger und Standardsuper (Diefenbach). 11. Aufl.

42 • • • desgl., Band 2. Spitzensuper und Transistorempfänger (Diefenbach). 2. Aufl.

44 • • • KW- und UKW-Amateurfunk-Antennen (Diefenbach). 9. Aufl.

46 • Sendertabelle (Schneider/Redlich).

50 • • Prakt. Antennenbau (Mende). 15. Aufl.

51 • • Kleine Fernseh-Bildfehler-Fibel (Gies/Kirsch). 1. Aufl.

52 Fernsehempfangstechnik (Koubek). DM 15.30 (Siebenfachband).

53 • • • Elektroflug (Bruß).

55 • • • Fernsehtechnik von A bis Z (Conrad). 5. Aufl.

58 • • Morselehrgang (Diefenbach). 9. Aufl.

59 • • Funk-Entstörungs-Praxis (Mende). 5. Aufl.

60 • Die Widerstand-Kondensator-Schaltung. Einführung in die RC-Schaltungstechnik (Schneider). 6. Aufl.

64 • • Einführung in die Operationsverstärker-Technik (Hirschmann).

68 • • • Kleine Elektronik-Formelsammlung (Rose). 13. Aufl.

72 • • Drahtlose Fernsteuerung von Flugmodellen (Schultheiss). 5. Aufl.

80 • • • • Das Spulenbuch – Hochfrequenzspulen (Sutaner). 6. Aufl.

84 • • Fernsehantennen-Praxis (Mende). 12. Aufl.

85 • • • HiFi-Schaltungs- und Baubuch (Kühne/Horst). 7. Aufl.

88 • • Schliche und Kniffe für Radiopraktiker (Kühne). 6. Aufl.

93 • • Transistorschaltungen für die Modellfernsteuerung (Bruß). 6. Aufl.

99 • • • Wie arbeite ich mit dem Elektronenstrahl-Oszillografen? (Sutaner/Wißler). 8. Aufl.

100 • • Daten- und Tabellensammlung für Radiopraktiker und Elektroniker (Mende). 3. Aufl.

Fritz Kühne

Mikrofone

Aufbau, Anwendung und Selbstbau von Mono-, Stereo-, Kunstkopf- und Transistor-Mikrofonen

Mit 76 Abbildungen und 3 Tabellen

9., völlig neu bearbeitete Auflage von
„Kühne: Mono-, Stereo- und Transistor-Mikrofone"

FRANZIS-VERLAG MÜNCHEN

Nr. 11 der RPB electronic-taschenbücher

1975

Franzis-Verlag GmbH, München.

Sämtliche Rechte – besonders das Übersetzungsrecht – an Text und Bildern vorbehalten. Fotomechanische Vervielfältigung nur mit Genehmigung des Verlages. Jeder Nachdruck, auch auszugsweise, und jede Wiedergabe der Abbildungen, auch in verändertem Zustand, sind verboten.

Druck: Franzis-Druck GmbH, 8 München 2, Karlstr. 35
Printed in Germany. Imprimé en Allemagne.

ISBN 3-7723-0119-3

Vorwort zur 1. Auflage

Wenn man als Praktiker in der Mikrofon-Preisliste einer Großhandlung blättert, ist man zunächst überrascht und verwirrt. Überrascht ist man von der Fülle der angebotenen Mikrofone, und verwirrt wird man durch die riesigen Preisunterschiede. Zwischen einer „Postkapsel" aus ehemaligen kommerziellen Beständen für eine halbe Mark und einem hochwertigen Studiomikrofon, das zusammen mit dem Netzanschlußteil gegen 1000 DM kostet, sind alle Zwischenstufen vertreten. Sehr bald erkennt man dann, daß es falsch wäre, den Gebrauchswert eines Mikrofons allein nach dem Preis zu beurteilen. Seine Eigenschaften und seine Eignung für einen bestimmten Zweck werden durch eine ganze Reihe von Merkmalen bestimmt, die dem Praktiker nicht immer geläufig sind. Von einer bestimmten Qualitätsgrenze ab steigen Preis und zusätzlicher Aufwand sehr steil an.

Will der Praktiker stets die richtige Wahl treffen, dann muß er sich mit dem Mikrofongebiet gut vertraut machen. Die richtige Anwendung von Mikrofonen und der gelegentliche Selbstbau sind gleichfalls Dinge, die ihm geläufig sein müssen. Das vorliegende Buch bemüht sich, in alle Fragen der Mikrofon-Praxis einzuführen.

Vorwort zur 9. Auflage

In den letzten Jahren hat sich auf dem Mikrofongebiet eine Menge getan. Die Industrie beherrscht die Massenfertigung erstklassiger Mikrofone, und so ist es verständlich, daß man heute für runde 00 DM Typen bekommt, deren technischen Eigenschaften man

noch vor wenigen Jahren als „studiogemäß" bezeichnet hätte. Selbstverständlich baut man auch heute noch Modelle, die das Letzte bieten, was die moderne Technik ermöglicht, die für Sendeanstalten und professionelle Studios bestimmt sind und die mehr als einen Tausender kosten. Von diesen Typen soll aber nur am Rand die Rede sein, denn ihre Überlegenheit kommt bei den Arbeitsbedingungen des Praktikers kaum zum Vorschein. Deshalb berücksichtigt die Tabelle am Ende dieses Buches vorwiegend nur jene Typen, die sich „Otto-Normalverbraucher" in etwa leisten kann.

Fritz Kühne, Garmisch

Wichtiger Hinweis

Die in diesem Buch wiedergegebenen Schaltungen und Verfahren werden ohne Rücksicht auf die Patentlage mitgeteilt. Sie sind ausschließlich für Amateur- und Lehrzwecke bestimmt und dürfen nicht gewerblich genutzt werden*).

Alle Schaltungen und technischen Angaben in diesem Buch wurden vom Autor mit größter Sorgfalt erarbeitet bzw. zusammengestellt und unter Einschaltung wirksamer Kontrollmaßnahmen reproduziert. Trotzdem sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Der Verlag sieht sich deshalb gezwungen, darauf hinzuweisen, daß er weder eine Garantie noch die juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für Folgen, die auf fehlerhafte Angaben zurückgehen, übernehmen kann. Für die Mitteilung eventueller Fehler sind Autor und Verlag jederzeit dankbar.

*) Bei gewerblicher Nutzung ist vorher die Genehmigung des möglichen Lizenzinhabers einzuholen.

Inhalt

1	Welches Mikrofon ist „gut"?	7
2	Mikrofonarten und ihre Arbeitsweisen	9
2.1	Die Vorspannungs-Quelle	12
3	Eigenschaften von Mikrofonen	14
3.1	Empfindlichkeit und Ersatzlautstärke	14
3.2	Frequenzverlauf	16
3.3	Hörkennlinie	20
3.4	Nichtlineare Verzerrungen	24
3.5	Eigengeräusch	26
3.6	Innenwiderstand	28
3.7	Erdsymmetrische Leitungen	31
3.8	Betriebsbereitschaft, Wartung und klimatische Einflüsse	32
4	Mikrofonübertrager	37
5	Mischtechnik	40
6	Kohle-Mikrofone	47
6.1	Längsstrom-Mikrofone	47
6.2	Querstrom-Mikrofone	50
6.3	Netzgerät für Kohle-Mikrofone	51
6.4	Selbstbau eines Kohle-Querstrom-Mikrofons	51
7	Kondensator-Mikrofone	54
7.1	Einstufige Nf-Ausführungen	54
7.2	Mehrstufige Nf-Ausführungen	56
7.3	Die Stromversorgung von Kondensator-Mikrofonen	58
7.4	Kunstkopf-Mikrofone — kopfbezogene Stereofonie	64
7.5	Umschaltbare Hörkennlinien	68
7.6	Selbstgebaute Kondensatorkapsel	73
7.7	Hf-Kondensator-Mikrofone	76

8	Kristall- und keramische Mikrofone	79
8.1	Klangzellen- und Membran-Mikrofone	79
8.2	Schaltungstechnik bei Kristall-Mikrofonen	81
8.3	Körperschall-Mikrofone mit Kristallsystem	82
9	Dynamische Mikrofone	84
9.1	Bändchen-Mikrofone	84
9.2	Tauchspul-Mikrofone	85
9.3	Mikrofonlautsprecher für Wechselsprech-Anlagen und Diktiergeräte	88
10	Magnetische Mikrofone	90
10.1	Magnetisches Kleinmikrofon für Transistor-Hörgeräte	90
10.2	Kopfhörer als Mikrofon	90
10.3	Magnetische Gitarren-Mikrofone	90
11	Transistor-Mikrofone	94
11.1	Dynamische und magnetische Transistor-Mikrofone	94
11.2	Selbstgebautes magnetisches Transistor-Mikrofon	96
12	Spezial-Mikrofone	99
12.1	Lavalier-Mikrofone	99
12.2	Drahtlose Mikrofone	100
12.3	Geräuschkompensierende Mikrofone	104
12.4	Stereo-Mikrofone	110
13	Richtige Mikrofonaufstellung	111
13.1	Monoaufnahmen	112
13.2	Stereoaufnahmen	116
14	Mikrofon-Steckvorrichtungen und ihre Beschaltung	117
15	Tabellenanhang	119
Sachverzeichnis		131

1 Welches Mikrofon ist „gut"?

Diese Frage wird dem erfahrenen Mikrofon-Praktiker oft gestellt. Die Antwort könnte man sich leicht machen und eines der verschiedenen Super-Mikrofone für Studiozwecke nennen. Allerdings könnte der Fragesteller mit dieser Auskunft nicht viel anfangen. Ganz ähnlich erginge es jemandem, der den Autofachmann nach einem „guten" Kraftfahrzeug fragen würde. Wollte man ihm einen großen Mercedes empfehlen, um einen Telegrafenboten zu motorisieren, so würde er gleich erkennen, daß seine ungenaue Fragestellung an der unbefriedigenden Auskunft schuld ist. Hier wie dort muß man sehr genau die gerade vorliegenden Verhältnisse kennen, um die richtige Wahl zu treffen.

Bei der Auswahl eines Mikrofons soll man immer an das Sprichwort denken: „Eine Kette ist nicht stärker als ihr schwächstes Glied". Das Mikrofon ist aber das erste Glied in einer sehr langen Kette von Übertragungsmitteln. Vom Qualitätsstandpunkt aus wird man daher bestrebt sein, ein Mikrofon zu verwenden, das zumindest nicht schlechter ist als die übrigen Übertragungsmittel. Es wäre jedoch unwirtschaftlich, ein Mikrofon zu verwenden, das in seiner Güte die übrige Übertragungseinrichtung weit übertrifft.

An zwei Beispielen aus der Praxis wird das ohne weiteres klar: Ein Studio befaßt sich mit der Hi-Fi-Aufnahme von Musikdarbietungen auf Tonbänder. Der Anschaffungswert einer solchen Aufnahmeeinrichtung beträgt mehrere Tausend Mark, und die erzielbare Qualität stellt das Beste dar, was man heute erreichen kann. Natürlich wird man hier ein Qualitäts-Mikrofon anwenden und nicht etwa ein einfaches Fernsprech-Mikrofon. Der Wert der ganzen Anlage würde vermindert, wenn man hier am falschen Ort sparen wollte.

Das Gegenbeispiel: Im Wartezimmer eines Betriebes ist ein kleiner Lautsprecher aufgestellt, um durch namentlichen Aufruf die wartenden Besucher schneller und bequemer abfertigen zu können. Hier kommt es allein auf ausreichende Verständlichkeit an. Als Verstärker dient ein 1-W-Nf-Baustein aus dem Versandhandel, an den ein 12-cm-Lautsprecher angeschlossen ist. Natürlich wäre es ein ausgesprochener Luxus, wenn man als Mikrofon eine hochwertige Studioausführung verwenden würde. Die hohe Qualität eines solchen Mikrofons käme in Verbindung mit diesem einfachen Verstärker gar nicht zur Geltung. Ein billiges dynamisches, magnetisches oder piezoelektrisches Import-Mikrofon oder vielleicht nur eine einfache Postkapsel würden hier den gleichen Zweck erfüllen.

Schon diese beiden – allerdings recht drastischen – Beispiele zeigen, daß man beim Umgang mit Mikrofonen offenbar recht gut überlegen muß, wenn man keinen Fehler machen will. Dabei waren es Beispiele, die so überzeugend sind, daß die Entscheidung nicht schwerfallen kann. In vielen Fällen ist es nicht so einfach, rasch zu einem richtigen Ergebnis zu kommen. Es genügt dann nicht mehr, allein das günstigste Verhältnis zwischen Aufwand und Leistung zu ermitteln. Fragen der zulässigen Leitungslängen, der klimatischen Verhältnisse (Betrieb im Freien), Wartung und Betriebsbereitschaft wollen genauestens durchdacht sein. Es gibt sogar Grenzfälle, wo das Für und Wider für die eine oder andere Mikrofonart lange Debatten rechtfertigen würde. Immer aber wird man das Mikrofon finden können, das vom Blickpunkt des jeweiligen Verwendungszwecks aus betrachtet allen Anforderungen gerecht wird und das im Sinne unserer eingangs gestellten Frage „gut" ist. Noch eine tröstliche Feststellung: Wirklich „schlechte" Mikrofone werden heute nicht mehr fabriziert, es sei denn, man läßt sich eins in Sonderanfertigung bauen.

2 Mikrofonarten und ihre Arbeitsweisen

Wenn man sich häufig mit Mikrofonen befaßt, erkennt man rasch, daß es vorteilhaft ist, die zahlreichen heute verwendeten Mikrofone in bestimmte Klassen einzuteilen. Allerdings wird man zunächst schwanken, von welchem der verschiedenen möglichen Gesichtspunkte aus man die Klassifizierung am zweckmäßigsten vornimmt. Es wäre zum Beispiel möglich, zunächst eine Einteilung in Luft- und Körperschall-Mikrofone zu wählen. Luftschall-Mikrofone begegnen ja dem Praktiker am häufigsten. Alle Mikrofone, bei denen zwischen Schallquelle und Mikrofon das Medium „Luft" zwischengeschaltet ist, bezeichnet man als Luftschall-Mikrofone. Im Gegensatz hierzu kennt man die Körperschall-Mikrofone, welche direkt mechanisch mit dem schwingenden Schallerzeuger gekoppelt sind. Ein Vertreter dieser Mikrofonart ist zum Beispiel das Kehlkopf-Mikrofon.

Man könnte auch daran denken, eine Einteilung nach der Ausführungsform, zum Beispiel in Hand-, Tisch- und Ständer-Mikrofone, oder nach der Qualität in Sprach- und Musik-Mikrofone, oder nach dem Verwendungszweck in Reportage- und Studio-Mikrofone vorzunehmen. Alle diese Gruppierungsversuche würden daran scheitern, daß sie zu unübersichtlich sind. Die zweckmäßigste Einteilung in verschiedene Mikrofonarten ist die, welche von den verschiedenen elektrischen Arbeitsweisen ausgeht. Grundsätzlich könnte man jede dieser Mikrofonarten dann als Luft- oder Körperschall-Mikrofon, als Hand-, Tisch- oder Ständerausführung und als Reportage-, Studio-, Sprach- oder Musik-Mikrofon bauen. Wenn man diese Möglichkeit nicht restlos ausschöpft, und zum Beispiel unseres Wissens keine Körperschall-Mikrofone nach dem Kondensatorprinzip gebaut werden, so sind die Gründe hierfür rein konstruktiver Natur.

Befassen wir uns also zunächst etwas näher mit den Arbeitsweisen der heute gebräuchlichen Mikrofone. Grundsätzlich wird ein schwingfähiges Gebilde, die Membran, durch den auftreffenden Schall in Bewegung gesetzt. Sie erzeugt mittelbar oder unmittelbar dem Schall entsprechende elektrische Tonspannungen. Wenn man alle heute gebräuchlichen Mikrofone auf ihre Arbeitsweise untersucht, erkennt man, daß es *fünf elektrische Effekte* sind, auf deren Wirkung unsere heutigen Mikrofone beruhen.

Die *Kontakt-Mikrofone* sind die ältesten und bekanntesten Mikrofone. Zwei Vertreter dieser Mikrofonart sind auf ihrem Anwendungsgebiet geradezu zum Symbol geworden, die „Postkapsel" im Fernsprechwesen und das Reisz-Mikrofon, der bekannte Marmorwürfel, in den Frühjahren des Rundfunks. Über die Arbeitsweise des Kontakt-Mikrofons gibt es ein witziges, aber sehr treffendes Schlagwort. Man sagt: „Das Kontakt-Mikrofon ist ein zum Prinzip erhobener Wackelkontakt". Durch die Schwingungen der vom Schall bewegten Membran wird nämlich der Kontaktdruck einer Kohlegrieß- oder Kohlepulverfüllung verändert und damit der innere Widerstand des Mikrofons. Da dieses zusammen mit einer Gleichspannungs-Quelle und der Primärwicklung eines Übertragers in einem Stromkreis liegt, entstehen in der Sekundärwicklung des Übertragers Spannungsschwankungen, die den auftreffenden Schallwellen genau entsprechen. Als Kontaktmaterial findet ausschließlich Kohle Verwendung, weshalb man in der Umgangssprache diese Mikrofone als „Kohle-Mikrofone" bezeichnet.

Beim *statischen Mikrofon* liegt ein veränderlicher Kondensator mit einer Gleichspannungsquelle und einem Ladewiderstand in Serie. Der Kondensator wird von einer massiven Elektrode und einer Metallmembran gebildet. Durch die Bewegungen der Membran ändert der Kondensator dauernd seine Kapazität im Rhythmus der auftreffenden Schallwellen, dadurch verursacht er Spannungsänderungen am Ladewiderstand. Weil der wichtigste Teil des statischen Mikrofons ein Kondensator ist, nennt man es „Kondensator-

Mikrofon". Über Hf-Kondensator-Mikrofone und solche mit Elektret-Membran berichten Abschnitt 7.3 und 7.7.

Der *piezo-elektrische Effekt* wird bei den Kristall-Mikrofonen ausgenutzt. Ein aus einem bestimmten Kristall oder einer keramischen Masse (Keramische Mikrofone) geschnittenes Blättchen ist auf beiden Seiten mit Metallfolien belegt und so eingespannt, daß eine oder mehrere Ecken frei schwingen können. Wird das Kristallblättchen durch auftreffenden Schall zum Schwingen gebracht, dann entstehen an den Metallbelegen entsprechende Ladungen. Es gibt auch Kristall-Mikrofone, bei denen nicht das Kristallplättchen selbst als Membran dient, sondern mit einer entsprechenden Membran gekoppelt ist.

Beim *dynamischen Mikrofon* schwingt ein vom Schall bewegter elektrischer Leiter im Feld eines starken Magneten. Durch Induktion entstehen in diesem Leiter elektrische Spannungen. Vom dynamischen Mikrofon sind zwei Ausführungsformen bekannt, nämlich das Tauchspul- und das Bändchen-Mikrofon. Während beim Tauchspul-Mikrofon eine Membran die Tauchspule bewegt, wirkt beim Bändchen-Mikrofon das Bändchen selbst als Membran.

Beim *magnetischen Mikrofon* schwingt eine Membran aus magnetischem Werkstoff im Magnetfeld einer Spule, die auf einem permanenten Magneten aufgebracht ist. Die schwingende Membran verändert den magnetischen Fluß und erzeugt entsprechende Spannungsänderungen in der Spule. Im Grunde genommen läßt sich jeder Kopfhörer als magnetisches Mikrofon verwenden. Moderne magnetische Mikrofone verfügen im Sprachbereich über eine sehr ausgeglichene Frequenz-Kennlinie. So gibt es z. B. winzige zweimarkstückgroße Spezialtypen zum Einbau in Transistor-Hörgeräte, die vorzügliche Sprachwiedergabe ermöglichen. Noch eine weitere Spezialausführung sei erwähnt: Das ist ein Gitarre-Mikrofon, das zur elektrischen Übertragung von Gitarre-Soli im Rahmen von Tanzkapellen dient. Bei diesem Mikrofon wirken die Stahlsaiten des Musikinstrumentes selbst als Membran, denn sie schwingen im Magnetfeld des Mikrofons. Dieses Beispiel sei nur zur Vervollständigung ange-

führt, denn es ist schwer abzugrenzen, ob dieses Mikrofon überhaupt noch als Mikrofon oder bereits als Tonabnehmer anzusprechen ist.

Ist man schon einmal beim Klassifizieren, so drängt sich uns ganz von selbst noch eine weitere Gruppe auf, für die es eigentlich noch keinen offiziellen Namen gibt, nämlich die der *Transistor-Mikrofone*. Das sind Typen, in die man organisch einen winzigen Transistor-Vorverstärker eingebaut hat, und es leuchtet ein, daß sich im Prinzip hierfür jede beliebige Mikrofonart eignet. Daß es zur Zeit nur magnetische, dynamische und kapazitive Transistor-Mikrofone auf dem Markt gibt, mag mit der Nachfrage zusammenhängen. Auf jeden Fall ist diese Bauform so interessant, daß wir sie getrennt in Abschnitt 11 behandeln wollen.

2.1 Die Vorspannungs-Quelle

Bei der vorstehenden Zusammenstellung der Mikrofonarten und der Besprechung ihrer Arbeitsweisen fällt folgendes auf: Kristall-, dynamische und magnetische Mikrofone erzeugen unter Einwirkung des Schalls selbst eine elektrische Spannung. Sie arbeiten also ganz ähnlich wie ein Generator (aktives Mikrofon). Kohle- und Kondensator-Mikrofon steuern dagegen eine feste Vorspannung. Sie arbeiten also ähnlich wie ein Relais (passives Mikrofon). Viele Praktiker haben nun eine ausgesprochene Abneigung gegen „Relais-Mikrofone". Diese Abneigung stammt noch aus der Zeit, in der man als Vorspannungsquellen ausschließlich Batterien verwendete. Aber selbst bei Batteriebetrieb ist diese Einstellung nur in Einzelfällen gerechtfertigt. Wie wir später noch erkennen werden, gibt das Kohle-Mikrofon bei gleichem Schalldruck wesentlich höhere Tonspannungen ab als andere Mikrofone; es erfordert daher auch weniger an nachfolgender Verstärkung. Schon deshalb sollte man die Notwendigkeit einer Vorspannungsquelle „milder" beurteilen, ganz abgesehen davon, daß man heute in der Lage ist, die Vorspannung für Mikrofone genügend brummfrei aus dem Netzteil zu entnehmen.

Noch klarer liegen die Verhältnisse beim Kondensator-Mikrofon. Dieses wird mit der ersten Verstärkerstufe zu einer Einheit zusammengebaut. Da man für diese Stufe ohnehin eine Batterie oder ein Netzgerät vorsehen muß, stellt die Erzeugung der Vorspannung keinen zusätzlichen Aufwand dar.

3 Eigenschaften von Mikrofonen

3.1 Empfindlichkeit und Ersatzlautstärke

Bezeichnenderweise fragt der Praktiker immer zuerst nach der Empfindlichkeit eines Mikrofons. Das ist auch ganz natürlich, denn je mehr Spannung es abgibt, um so weniger Stufen braucht man im nachfolgenden Verstärker. Die Spannungsabgabe eines Mikrofons ist nun aber nicht nur von seiner Konstruktion abhängig, sondern auch von der Lautstärke, mit der es besprochen wird, und – das ist jedem Praktiker wohl bekannt – vom Abstand zwischen Mikrofon und Schallquelle. Man bezieht daher die Spannungsabgabe eines Mikrofons auf die Einheit des *Schalldruckes*, der bei Beschallung an der *Einsprechöffnung* gemessen wird. Der Schalldruck wird in Mikrobar (µbar) und die Spannung in Millivolt (mV) angegeben. Die Empfindlichkeit wird durch das Verhältnis „Millivolt je Mikrobar" (mV/µbar) ausgedrückt.

Neuerdings spricht man nicht mehr von der „Empfindlichkeit", sondern vom Feld-Leerlauf-Übertragungsfaktor. Dieser Begriff gibt an, welche Tonspannung am Mikrofonausgang gemessen wird, wenn man es im freien Schallfeld einem Schalldruck von 1 µbar aussetzt. Zunehmend bürgert es sich ein, den Feld-Leerlauf-Übertragungsfaktor nicht auf 1 µbar zu beziehen, sondern auf 1 N/m^2 (1 Newton pro Quadratmeter = 1 Pascal). Demnach entspricht 1 mV/µbar dem Wert 10 mV/Pa.

Für den Profi ist das eine schöne, klare Definition, weil er diese Größen mit seinen Geräten genau messen kann. Dem Praktiker hingegen ist damit wenig gedient, weil er sich unter einem Schalldruck von 1 µbar nichts Rechtes vorstellen kann. Trotzdem bekommt man einen sehr guten Anhalt, wenn man sich eine einfache Faust-

regel merkt. Ein Sprecher, der mit „normaler Unterhaltungsstimme" 30 cm vor einem Mikrofon spricht, erzeugt an dessen Einsprechöffnung einen Schalldruck von ungefähr 5 µbar [1]). Gibt das verwendete Mikrofon 1 mV/µbar ab, dann weiß man bereits, daß bei der oben geschilderten Besprechungsart vom Mikrofon ungefähr 5 mV geliefert werden. Handelt es sich um ein niederohmiges Tauchspul-Mikrofon, das die Nachschaltung eines Mikrofonübertragers 1 : 20 zuläßt, dann stehen an der ersten Stufe etwa 100 mV zur Verfügung. Anhand einer einfachen Überschlagsrechnung kann man nun mit diesem Wert schon etwas anfangen. Zwar roh, für unsere Zwecke aber ausreichend genau, können wir zum Beispiel überschlagen, welche Vorverstärkung zur Durchsteuerung einer gegebenen Endstufe erforderlich sein wird. Gegenkopplungs- und Entzerrerschaltungen dämpfen zwar die Verstärkungsziffer, aber so ungefähr kann man doch mit diesen Werten rechnen. Ganz bequem hat man es aber dann, wenn die Eingangsempfindlichkeit des verwendeten Verstärkers bekannt ist.

Gegen diese Überlegungen wäre vielleicht einzuwenden, daß diese überschlägig ermittelten Werte nur für den Schalldruck gelten, den ein Sprecher erzeugt. Das stimmt zwar, aber die Praxis zeigt, daß Sprache auch die geringsten Schalldrücke erzeugt, mit welchen der Praktiker zu rechnen hat. Schon ein einzelner Klavierspieler liefert dem Mikrofon höhere Schalldrücke, ganz zu schweigen von einer kleinen Kapelle oder gar einem Orchester. Nachdem wir aber die Schalldruckwerte unseres Sprechers auch noch auf Vollaussteuerung der Endstufe bezogen haben, verspricht uns diese einfache Rechnung für alle Fälle der Praxis ausreichende Lautstärkereserve.

Ein wichtiger Begriff in Verbindung mit der Mikrofonempfindlichkeit, der hier und da in Datenblättern angewandt wird, ist die sogenannte *Ersatzlautstärke*. Die Empfindlichkeit in mV/µbar sagt leider nichts darüber aus, welches Eigengeräusch das betreffende

[1]) Manche Praktiker rechnen dagegen mit einem Schalldruck von 1 µbar bei 50 cm Abstand. Die unterschiedlichen Werte sind so zu erklären, daß der Begriff „normale Unterhaltungsstimme" dehnbar ist.

Mikrofon verursacht. Man erfährt also nicht, welcher *kleinste* Schalldruck noch verarbeitet wird, ohne daß er im Störgeräusch untergeht. Die Ersatzlautstärke gibt deshalb denjenigen Kleinstwert an, der noch ungestört zu übertragen ist. Die Geräuschspannung, die das Mikrofon abgibt, wird mit dem Geräuschspannungsmesser nach DIN 45 405 gemessen. Die Ersatzlautstärke errechnet sich aus der gemessenen Geräuschspannung und der Mikrofon-Empfindlichkeit. Der Bezugswert ist die Hörschwelle mit 2×10^{-4} µbar. Der Begriff der Ersatzlautstärke soll zukünftig durch „Geräuschspannungsabstand" ersetzt werden. Dieser wird auf einen Nutzschalldruck von 1 N/m² bezogen = 10 µbar. Ein Umrechnen auf die Ersatzlautstärke ist einfach, weil 1 N/m² einem Schallpegel von 94 dB entspricht. Von diesem Wert ist lediglich der Geräuschspannungsabstand abzuziehen, um auf die gewohnte und bis jetzt benutzte Ersatzlautstärke zu kommen.

3.2 Frequenzverlauf

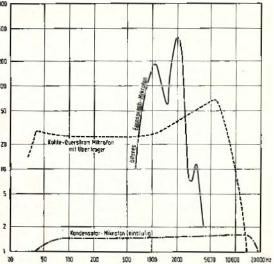
Soll nicht nur ein Sprecher, sondern vielleicht ein Sänger, ein Klavierspieler, ein Chor oder gar ein Orchester übertragen werden, dann fragt man nicht mehr so sehr nach der Empfindlichkeit eines Mikrofons als vielmehr nach seinen klanglichen Eigenschaften. Mit anderen Worten, man erwartet, daß es alle Töne gleich gut aufnimmt und daß die erzeugten Wechselspannungen genau den Schalldruckwerten entsprechen.

Wenn wir sagen *„alle Töne"*, dann ist das eigentlich schon eine recht hoch geschraubte Forderung. Das jugendliche menschliche Ohr hört Töne zwischen 16 und 16 000 Hz, während *im Alter* der Hörumfang nachläßt. Allerdings – das sei hier zur Beruhigung gesagt –, zu einer sehr gut verständlichen *Sprach*übertragung reicht bereits ein Frequenzband von 300...2000 Hz aus, und selbst eine Musikübertragung zwischen 100 und 4000 Hz klingt noch erträglich (MW-Empfang mit kleineren Heim- oder Reisegeräten). Für die Mehrzahl der Übertragungsaufgaben sind deshalb höchstwertige

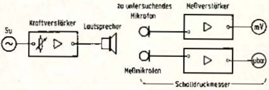
Spezialmikrofone durchaus nicht erforderlich. Man soll sich vielmehr stets im klaren sein, welchen Tonumfang die vorhandene Wiedergabeeinrichtung beherrscht, bevor man unnötig hohe Qualitätsforderungen an ein Mikrofon stellt.

Den Frequenzverlauf eines Mikrofons erkennt man aus seiner *Frequenzkurve*. In *Abb. 1* sind zum Beispiel die Kurven eines älteren Fernsprech-Mikrofons, eines Kohle-Querstrom-Mikrofons (z. B. Typ Reisz aus der Frühzeit des Rundfunks) und eines Kondensator-Mikrofons dargestellt. *Abb. 2* zeigt, wie solche Kurven aufgenommen werden. Im Freien, zum Beispiel auf einer Wiese, weit entfernt von jedem störenden Lärm oder in einem schalltoten Raum steht das zu untersuchende Mikrofon einem Lautsprecher gegenüber, dem die verschiedenen Meßfrequenzen aus einem Schwebungssummer Su über einen Kraftverstärker zugeführt werden. *Unmittelbar neben* dem Mikrofon, das gemessen werden soll, steht ein zweites geeichtes Mikrofon, dessen Eigenschaften genau bekannt sind. Die enge Nachbarschaft gibt die Gewißheit, daß an dem zu messenden Mikrofon genau der gleiche Schalldruck herrscht wie an dem geeichten Meßmikrofon. Das zu untersuchende Mikrofon ist mit einem Meßverstärker verbunden, dessen Meßwerk in mV (Millivolt) geeicht ist, während der Meßverstärker des Vergleichs- oder Meßmikrofons direkt in Schalldruckwerten, also in µbar, geeicht ist. Wenn man dafür sorgt, daß der Lautstärkeeinsteller des Kraftverstärkers immer gerade so weit aufgedreht wird, daß der Schalldruckmesser bei allen Meßfrequenzen gleichen Schalldruck anzeigt, dann läßt sich ohne viel Mühe eine Frequenzkurve zeichnen, wie sie in Abb. 1 dargestellt ist.

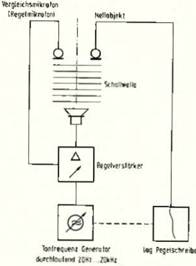
Dieser „Handbetrieb", also das punktweise Nachstimmen des Tongenerators, das Einstellen des Schalldruckes, das Notieren der gemessenen Werte und endlich das Zeichnen einer Kurve, all das ist für die Fabrikation viel zu umständlich. *Abb. 3* zeigt einen Schalldruckmesser, bei dem die Abstimmung des Generators mechanisch mit einem Pegelschreiber gekuppelt ist und bei dem ein Vergleichs-



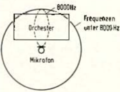
1 Frequenzkurven verschiedener Mikrofone



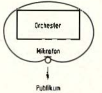
2 Meßanordnung für Mikrofone



3 Schalldruckmesser mit mechanischer Kupplung zwischen Generator und Schreiber



4 Kreisförmige Hörkennlinie. Die gestrichelt gezeichnete Linie begrenzt die Hörfläche für hohe Töne



5 Hörkennlinie eines Nieren-Mikrofons

Mikrofon einen Regelverstärker stets so einstellt, daß am Meßobjekt bei allen Frequenzen gleicher Schalldruck herrscht.

Die Frequenzkurve des älteren Fernsprech-Mikrofons zeigt (Abb. 1), daß dieses zwei starke Resonanzspitzen bei ungefähr 1000 und 2000 Hz aufweist, während es unterhalb 500 und oberhalb 3000 Hz praktisch keine Spannung mehr abgibt. Klanglich viel günstiger verhält sich das Kohle-Querstrom-Mikrofon, dessen Frequenzkurve zwischen 50 und 1500 Hz linear ist, bis zu 6000 Hz einen leichten Anstieg aufweist und selbst bei 8000 Hz noch ungefähr 30 % Spannung gegenüber der Mittellage abgibt. Die Frequenzkurve des Kondensator-Mikrofons ist dagegen zwischen 50 und 15 000 Hz praktisch linear. Eine wichtige Faustregel kann man aus den Kurven in Abb. 1 allerdings auch ableiten: *Je besser ein Mikrofon in klanglicher Beziehung ist, um so weniger Spannung gibt es ab.* Das ist übrigens auch einfach zu erklären. Um eine Frequenzkurve „auszubügeln", muß man Resonanzstellen der Membran mechanisch dämpfen. Dämpfung aber heißt Empfindlichkeitsverlust. Diese Tatsache sollte man nicht zu tragisch nehmen. Wo eine besonders hochwertige Wiedergabe gefordert wird, dort wird auch Aufwand getrieben. Demgegenüber fallen dann eine oder zwei zusätzliche Verstärkerstufen im Mikrofon-Verstärker kaum ins Gewicht.

3.3 Hörkennlinie

Stellt man eine Versuchsperson mit verbundenen Augen mitten auf einen großen Platz oder in eine Halle und läßt man sie der Reihe nach von verschiedenen Stellen aus ansprechen, dann wird sie mit ziemlicher Sicherheit angeben können, aus welcher Richtung der Ruf kam. Hält man ihr aber ein Ohr zu, dann ist es ihr fast unmöglich, die Richtung der Schallquelle zu bestimmen. Der Versuchsperson geht es dann ähnlich wie einem herkömmlichen Mono-Mikrofon [1]), das ja nichts anderes ist als ein elektrisches Ohr. Das

[1]) Mono = einohrig im Gegensatz zum Stereomikrofon.

Mikrofon hört *„ein-ohrig"!* So erklärt es sich auch, daß eine Übertragung aus einem größeren Raum so hallig klingt. Das Mikrofon – wenigstens in seiner üblichen Ausführung – kann sich nicht wie das menschliche Ohrenpaar auf eine ganz bestimmte Schall-Einfallsrichtung konzentrieren. Es hört genauso gut auch den Störschall, der zum Beispiel von anwesendem Publikum verursacht wird, oder unerwünschte Echoerscheinungen, die Decken, Säulen oder Wände erzeugen. Die meisten Mikrofone sind nach allen Seiten gleich empfindlich. Würde man ihre Hörkennlinie räumlich darstellen, hätte sie Kugelform, in flächenhafter Darstellung Kreisform.

Um störende Echowirkungen, die besonders von hinten kommen, auszuschalten, gibt es eine Reihe von Kniffen. Bekannt sind aus der Frühzeit der Aufnahmetechnik die gepolsterten Wände der Studios, die Echo-Erscheinungen weitgehend ausschaltete. Mitunter stellte man das Mikrofon auch in ein sogenanntes „Schallzelt", ein Gebilde aus Filz oder Samt in der Größe eines Schilderhäuschens. So gut sich diese Maßnahmen bewährten, so sind sie doch, besonders in der kommerziellen Technik, recht unhandlich. Deshalb baut man heute viele Mikrofone, die eine ganz bestimmte Richtwirkung haben. Diese sind nicht nur als teure Studiotypen zu haben, sondern z. B. in dynamischer Ausführung auch für den Privatgebrauch, und zwar zu einem annehmbaren Preis.

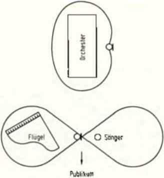
Genaue Untersuchungen haben gezeigt, daß die kreisförmige Hörkennlinie normaler Mikrofone bei hohen Tönen immer mehr die Form einer Ellipse annimmt. Mit anderen Worten, hohe Töne werden schlechter aufgenommen, wenn sie seitlich auf das Mikrofon auftreffen. Bei Musikübertragungen muß man hierauf achten und Instrumente, die vor allem hohe Töne hervorbringen, so vor dem Mikrofon aufstellen, daß sie möglichst in gerader Linie vor der Einsprechöffnung musizieren. Bei kleineren Klangkörpern läßt sich da immer eine Lösung finden. Recht schwierig wird es bei großen Orchestern. *Abb. 4* gibt ein Beispiel hierfür. Um die hohen Obertöne der Geigen richtig aufzunehmen, müßte man diese in dem schmalen Bereich in der Orchestermitte placieren, der von der Kennlinien-

Ellipse für 8000 Hz begrenzt wird. Das ist aber aus räumlichen und musikalischen Gründen (gewohnte Orchester-Sitzweise) fast undurchführbar. Hier helfen nun die Mikrofone mit Richtkennlinie, die gleich zwei Fliegen mit einer Klappe schlagen. Ihre Hörkennlinie ist nicht mehr kreisförmig, sondern gerichtet – deshalb sagt man auch Richtkennlinie – und praktisch frequenzunabhängig. Im Bereich der Hörfläche werden daher *alle* Töne gleich gut aufgenommen.

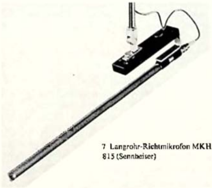
Abb. 5 zeigt, wie sich das bei einer Orchesteraufnahme mit einem Mikrofon mit nierenförmiger Hörkennlinie (kurz: *Nierenmikrofon* oder „Niere") auswirkt. Die gewohnte Sitzweise der Musiker braucht nicht mehr verändert zu werden, und – das ist besonders angenehm – störende Echowirkungen, die von hinten auf das Mikrofon auftreffen, oder Publikumsgeräusch können die Übertragung nicht mehr verschleiern. Gelegentlich kann solch ein Mikrofon auch dann sehr wertvolle Dienste leisten, wenn es zum Beispiel gilt, die Musik aus einem Tanzsaal zu übertragen, ohne daß das tanzende Publikum zu sehr stört.

Die achtförmige Hörkennlinie *(Abb. 6)* des *„Achtermikrofons"* erfaßt zwei gleichgroße Hörflächen vor und hinter dem Mikrofon. Die Abb. zeigt, wie sich mit ihm zum Beispiel Solisten getrennt „erfassen" lassen und in die Klänge des Orchesters durch den Tonmeister im richtigen Verhältnis eingeblendet werden können.

In letzter Zeit hat man Mikrofone entwickelt, deren Hörkennlinie so scharf wie der Strahl eines Scheinwerfers gebündelt ist. Das Kondensator-Richtmikrofon MKH 815 von Sennheiser electronic *(Abb. 7)* mag als Beispiel dienen. Durch Kombinieren von zwei akustischen Effekten (Interferenz- und Gradientenprinzip), auf die in dieser auf die Praxis abgestimmten Schrift nicht näher eingegangen werden soll, erzielt man eine Kennlinie in Form einer langgestreckten Keule. Außerhalb dieses Bereiches ist das Mikrofon nahezu taub. Deshalb kann man es mehrere Meter von einem Sprecher entfernt aufstellen, ohne daß störender Umgebungsschall seine Stimme überdeckt. Das Mikrofon ist hauptsächlich für Fernseh- und Filmstudios bestimmt, und zwar für Aufnahmen, wo es nicht mit „ins



6 Mit einem Nieren- und einem Achtermikrofon lassen sich auch schwierige Übertragungsaufgaben lösen



7 Langrohr-Richtmikrofon MKH 815 (Sennheiser)

Bild" kommen darf. Bisher hängte man normale Mikrofone so über den Schauspielern auf, daß sie sich gerade über dem oberen Bildrand befanden. Als Stativ diente ein sogenannter Mikrofongalgen mit einem langen verstellbaren Ausleger-Arm. Da sich der Bildausschnitt während einer Szene häufig ändert (Kamerabewegungen), waren dauernde Korrekturen der Mikrofonaufhängung unerläßlich. Auch bei einem hervorragend aufeinander eingespielten Team kam doch immer wieder einmal das Mikrofon ins Bild, und die Aufnahmen mußten wiederholt werden. Solche Pannen sind bei einem Richtmikrofon nach Abb. 7 nicht mehr möglich, weil es außerhalb des Blickfeldes aufgestellt wird.

Die Erklärungen der Arbeitsweisen von Kugel-, Nieren- und Achtermikrofonen waren nötig, um sich mit ihren Verhaltensweisen vertraut zu machen. Heutige Tonmeister zerbrechen sich kaum noch die Köpfe wegen der Orchestersitzweise, und dieses erleichtern ihnen die Supernieren-Richtmikrofone. Das sind Ausführungen, deren Richtkennlinien weniger breit als die der „Nieren" und nicht so spitz wie die der „Langrohre" nach Abb. 7 sind. Mit diesen Supernieren lassen sich alle klanglichen Probleme wie folgt lösen: Jedes Instrument oder jede Instrumentengruppe erhält ein eigenes Mikrofon, oft sind es mehr als sechzehn. Der gewünschte Gesamtklang wird bei Mono auf einen, bei Stereo auf zwei Kanäle „abgemischt".

3.4 Nichtlineare Verzerrungen

Nichtlineare Verzerrungen, also neu entstehende Nebentöne, die im Original-Klangbild gar nicht enthalten sind, sind bei allen Mikrofonen zu beobachten. Bei den hochwertigen Ausführungen sind sie allerdings so gering (unter 1 %), daß sie gerade noch meßbar, aber selbst von einem geschulten Ohr nicht wahrnehmbar sind. Selbst ein Anstieg bis auf 5 % (bei manchen Kristall-Mikrofonen) stört eine Übertragung kaum.

Störend können diese Verzerrungen aber bei Kohle-Mikrofonen in Erscheinung treten. Das kommt daher, daß die Membran, besonders bei großen Schalldrücken, in ihrer Bewegung nach einer Richtung, nämlich auf die Kohlefüllung zu, gehemmt ist. Man kann das ganz einfach ausprobieren, indem man ein gutes Kohle-Mikrofon einmal sehr dicht (5 cm) und sehr laut bespricht. Auch wenn man dafür sorgt, daß bei diesem Versuch der Verstärker bestimmt nicht übersteuert wird, hört man ganz deutlich die Mikrofon-Verzerrungen heraus. In der Übertragungspraxis kommt eine solche Besprechungsart allerdings selten vor. Genauso selten wird man mit einem Kohle-Mikrofon ein großes Konzertorchester mit seinen hohen Schalldrücken übertragen müssen. Trotzdem muß man wissen, daß ein Kohle-Mikrofon, auch wenn es für Musikübertragung geeignet ist, nicht *zu stark* beschallt werden darf.

Bei älteren Fernsprech-Mikrofonen können die nichtlinearen Verzerrungen bis zu 50 % betragen. Für reine Sprach-*Verständlichkeit* ist dieser Betrag noch immer zu ertragen, aber nicht mehr für eine halbwegs naturwahre Übertragung. Abgesehen davon, daß schon der Frequenzumfang solcher Mikrofone für Musikaufnahmen nicht genügt (Abb. 1), sind die Verzerrungen bei Musik unerträglich. Man hört das sehr deutlich, wenn man über das Posttelefon zum Beispiel einem Klavierspieler zuhört und dabei eine ältere Postkapsel verwendet wird.

Mancher Leser mag an dieser Stelle stutzen und einwenden, daß das seinen persönlichen Erfahrungen widerspricht. Wenn er einen bestimmten Bekannten anruft und sich über das Telefon Musik vorspielen läßt, dann klingt das recht manierlich und vom viel gelästerten blechernen Telefonklang ist auch bei kritischem Hinhören wenig zu bemerken. Unser Freund hat dann Glück, weil sein Partner bereits eine der modernen Mikrofonkapseln in seinem Telefon-Handapparat besitzt, die gegenüber früheren Modellen eine vielfach bessere Übertragung vermitteln. Vielleicht enthält sein eigener Apparat sogar eine dynamische Hörkapsel neuester Ausführung, die ebenfalls zur guten Klangqualität beiträgt. Die neuen Postmikrofone

können sich im wörtlichen Sinn *hören* lassen, und wenn wir deutlich zwischen älteren und modernen Typen unterscheiden, sie aber beide erwähnen, so geschieht das vor allem, weil die veralteten Ausführungen noch sehr weit verbreitet sind.

3.5 Eigengeräusch

Alle Mikrofonanordnungen haben ein störendes Eigengeräusch. Teils wird dieses vom Mikrofon selbst erzeugt (Kohle-Rauschen beim Kohle-Mikrofon), teils ist es auf das unvermeidliche Rauschen der ersten Verstärkerstufe (Kondensator-Mikrofon) zurückzuführen. Ganz allgemein erwartet man, daß das Eigengeräusch auch bei den leisesten Stellen einer Übertragung noch nicht stört. Der Begriff „leiseste Stelle" ist dehnbar. Bei einem Hörspiel im Rundfunk-Studio soll vielleicht ein Flüstern aus der anderen Ecke des Sendesaals noch übertragen werden. Im Schallfolien-Studio muß hingegen die leiseste Stelle einer Darbietung immer noch lauter sein als das unvermeidliche Nadelrauschen, und der Übertragungs-Praktiker nennt es „leise", wenn sein Sportsprecher einmal mit etwas verhaltener Stimme spricht. Deshalb kann auch ein preiswertes Mikrofon bei der einen Übertragungsart dem Ohr als völlig nebengeräuschfrei erscheinen, während es im andern Fall vielleicht recht unangenehm rauscht. Andererseits ist es einleuchtend, daß durchaus nicht immer die allerteuersten Mikrofone erforderlich sind, um eine einwandfreie Übertragung zu gewährleisten.

Die Studio-Leute bei Film und Funk fordern, daß das Verhältnis Nutz- zu Störspannung 500 : 1 bei einem Schalldruck von 1 μbar beträgt. So hoch geschraubte Ansprüche braucht der Praktiker nicht zu stellen. Freilich, messen kann er die Störspannung meist nicht, aber ein einfacher Versuch schafft schnell Klarheit. Man stellt sich 2 bis 3 m vor das zu untersuchende Mikrofon und spricht mit verhaltener Stimme, ungefähr so, als ob man ein Selbstgespräch führt. Der Verstärker wird so weit aufgedreht, daß er gerade noch nicht übersteuert wird. Hört man nun im Lautsprecher, der natürlich in

einem anderen Raum aufgestellt wird (sonst entsteht akustische Rückkopplung!), noch kein störendes Eigengeräusch, das nachweislich aus dem Mikrofon kommt, dann ist dieses für alle praktisch vorkommenden Zwecke unbedenklich verwendbar.

Am störendsten ist das Kohle-Rauschen von Kontakt-Mikrofonen. Es ist bei besseren Ausführungen durchaus erträglich, wenn man das Mikrofon nicht zu leise bespricht (Ansage, Amateurfunk, kleine Musikkapellen, Sänger). Andererseits muß man sich aber vor einem „zu viel" hüten, um keine nichtlinearen Verzerrungen (Abschnitt 3.4) zu bekommen.

Vergleicht man das hier und dort Gesagte, so erkennt man sehr gut die Leistungsgrenzen dieser preiswerten Mikrofone und kann mit großer Sicherheit vorausbestimmen, ob man sie anwenden kann oder nicht. Das Kohle-Rauschen, das vom Stromübergang zwischen den einzelnen Kohleteilchen herrührt, kann klein gehalten werden, wenn man die Betriebsspannung der Mikrofon-Batterie herabsetzt. Allerdings läßt dann auch die Mikrofon-Empfindlichkeit nach, so daß ein Teil der so erzielten Rausch-Dämpfung durch die erforderliche höhere Verstärkung wieder verloren geht. Kohle-Rauschen kann auch auftreten, wenn das Mikrofon Luftfeuchtigkeit angezogen hat. Es muß dann in einem sehr trockenen Raum einige Tage gelagert werden.

Eigengeräusch tritt mitunter bei Kondensator-Mikrofonen auf, wenn aus irgendwelchen Gründen die Isolation der Schaltelemente am Gatter der ersten Verstärkerstufe verschlechtert wurde. Das kann ebenfalls durch Luftfeuchtigkeit geschehen sein. Sorgsames Putzen mit Chloroform bringt Abhilfe. Auch der Gatterkondensator der ersten Stufe kann Feinschluß bekommen haben. Gewöhnliche Rollblocks sind hier ungeeignet. Keramische Kondensatoren oder die bekannten Kunststoff-Ausführungen sind vorzuziehen.

Bei Kristall-Mikrofonen tritt störendes Rauschen auf, wenn der Lautstärkeregler *vor* der ersten Verstärkerstufe angeordnet ist. Er muß immer *hinter* dieser Stufe liegen. Brummen kann eintreten, wenn das verwendete Mikrofonkabel nicht genügend dicht abge-

schirmt ist, oder durch Wechselstromheizung der ersten Röhre, sofern noch mit einem Röhrenverstärker gearbeitet wird. Abhilfe schafft im ersten Fall das Überziehen des Mikrofonkabels mit einem zweiten Abschirmgeflecht und im zweiten das Heizen der Röhre mit Gleichstrom oder aus einer getrennten Heizwicklung mit besonderem Entbrummer.

Dynamische Mikrofone brummen mitunter dann, wenn sie nahe bei einem stark streuenden Netztransformator aufgestellt werden. Wenigstens trifft das für preiswerte Ausführungen zu, deren System nicht nach außen mit Mu-Metall gekapselt ist. Das ist bei der Verwendung in Amateur-Funkstationen recht lästig, denn zumindest wird der Netzteil des Stationsempfängers stets in der Nähe des Mikrofones stehen. In allen anderen Fällen ist es aber möglich, sich mit dem brummempfindlichen Mikrofon einige Meter von streuenden Netztransformatoren zu entfernen.

Genauso brummempfindlich sind nichtgekapselte Mikrofonüberträger. Neuere Typen sind dagegen so unempfindlich gegen Streufelder, daß man sie unbesorgt auf das Verstärkerchassis schrauben kann. Wer unabgeschirmte ältere Typen benutzen will, dem sei empfohlen, sie in einem getrennten Kästchen in wenigstens 2 m Entfernung vom Netzteil anzuordnen.

3.6 Innenwiderstand

Viel wichtiger, als man im ersten Augenblick glauben möchte, ist der Innenwiderstand eines Mikrofons. Dieser bestimmt es nämlich, welche Leitungslängen zwischen Mikrofon und Verstärkereingang zulässig sind; damit ist in der Praxis in zahlreichen Fällen bereits festgelegt, ob das vorgesehene Mikrofon für einen bestimmten Verwendungszweck überhaupt anwendbar ist.

Jeder Radiopraktiker weiß, daß beim Berühren der nicht geerdeten Buchse am Tonabnehmer-Anschluß eines Rundfunkempfängers aus dem Lautsprecher ein heftiges Störgeräusch ertönt. Dieses Störgeräusch wird sofort ganz wesentlich schwächer, wenn man die Ein-

gangsklemmen mit einem Widerstand von vielleicht 100 Ω überbrückt. Die gleiche Beobachtung macht man, wenn man an die Tonabnehmerbuchsen eine gewöhnliche Doppelleitung anschaltet. Dieser einfache Versuch zeigt, daß eine Leitung um so weniger störanfällig ist, je niederohmiger ihr Eingangs- oder Abschlußwiderstand ist. Es ist ferner bekannt, daß man Störungen von einer Leitung dadurch abhalten kann, daß man sie mit einer metallischen Abschirmung umgibt, die an die Nullklemme des Verstärkers gelegt wird. Leider ist dieser „Kniff" kein Allheilmittel, das uns aller Leitungssorgen enthebt.

Die beiden Adern einer Doppelleitung (oder „Seele" und Mantel einer einadrigen, abgeschirmten Leitung) haben gegeneinander eine gewisse Kapazität, die mit der Leitungslänge wächst. Diese Leitungskapazität kann aber unter Umständen eine Übertragung recht erheblich beeinflussen, denn sie wirkt wie ein Kondensator, der dem Mikrofon parallelgeschaltet wird. Bei Mikrofonen mit ohmschem (Kohle-Mikrofone) und induktivem Innenwiderstand (dynamische Mikrofone, Kohle-Mikrofone mit Übertrager, Kondensator-Mikrofone mit eingebautem Verstärker und Leitungsübertrager) beschneidet solch ein Kondensator die hohen Töne wie eine Tonblende, falls man ihn zu groß macht. Beim Kristall-Mikrofon, dessen Innenwiderstand kapazitiv ist, dämpft er den gesamten Tonbereich gleichmäßig. Je niederohmiger nun ein Mikrofon ist, um so größer darf die schädliche Leitungskapazität werden, ohne daß eine Verschlechterung der Wiedergabe eintritt. Es ist hier wie bei der Tonblende, die z. B. an der hochohmigen Seite eines Ausgangsübertragers einen Kondensator von einigen Tausend pF aufweist, während auf der niederohmigen Werte in der Größenordnung von 1 μF erforderlich sind, um die gleiche Klangverdunkelung zu erreichen.

Aus diesen Überlegungen geht deutlich hervor, daß man niederohmige Mikrofone dort bevorzugt, wo zwischen Mikrofon und Verstärker längere Leitungen erforderlich sind, während hochohmige Ausführungen nur da angewendet werden können, wo kurze Verbin-

Tabelle 1. Der Innenwiderstand der wichtigsten Mikrofone und die für sie zulässigen Leitungslängen

Mikrofon	Ungefährer Innenwiderstand	Richtwert für zulässige Leitungslängen	Bemerkung
Fernsprech-Mikrofon	50...500 Ω	mehrere Kilometer	U
Hochwertiges Kohle-Querstrom-Mikrofon	100 Ω	bis ca. 200 m	A, Ev.U
Hochwertiges Kohle-Mikrofon hinter Übertrager 1 : 20	50 kΩ	2 m	A
Kondensator-Mikrofonkapsel	160 pF = 1 MΩ bei 1000 Hz	wenige cm	A
Kondensator-Mikrofon m. hochohmigem Verstärker-Ausgang	20 kΩ	10 m	A
Kondensator-Mikrofon m. niederohmigem Verstärker-Ausgang	200 Ω	bis ca. 200 m	A, Ev. U
Kristall-Mikrofon	1600pF = 100kΩ bei 1000 Hz	bis 20 m, bei Spezialkabel bis 150 m	A
Tauchspul-Mikrofon	5...200 Ω, je nach Ausführung	bis 200 m	A, Ev. U
Bändchen-Mikrofon mit eingebautem Leitungsübertrager	200 Ω	bis 200 m	A, Ev. U
Magnetisches Mikrofon	2000 Ω	bis 20 m	A

In Spalte „Bemerkung" bedeuten: A = abgeschirmt, U = unabgeschirmt, Ev. U = ev. unabgeschirmt

dungsleitungen möglich sind. Ein Ausweg ist der, daß man ein hochohmiges Mikrofon unmittelbar mit einem Vorverstärker zusammenbaut (Kondensator-Mikrofon) und den Ausgang dieses Verstärkers durch einen Leitungsübertrager niederohmig macht.

Tabelle 1 bringt eine Zusammenstellung der gebäuchlichsten Mikrofonarten mit ihrem Innenwiderstand und den ungefähr zulässigen Leitungslängen.

3.7 Erdsymmetrische Leitungen

Bei hochohmigen Mikrofonen ist in der Regel der eine Anschlußpunkt gleich mit dem Gehäuse und dem Abschirmmantel des abgehenden Kabels verbunden, während bei niederohmigen Ausführungen beide Anschlüsse isoliert herausgeführt sind. Man ist dadurch in der Lage, verschiedene Anschlußarten anzuwenden und kommt unter nicht zu ungünstigen Verhältnissen sogar ohne Kabelabschirmung aus. Das ist besonders in der Übertragungs-Praxis sehr angenehm, weil zum Beispiel das handelsübliche Gummikabel immer zur Hand ist, während abgeschirmtes Spezialkabel gewöhnlich dann fehlt, wenn man es braucht.

Da man hinter hochohmigen Mikrofonen keine Eingangsübertrager anwenden kann, ist die eine Verstärker-Eingangsklemme immer mit Erde verbunden. Deshalb führt auch nur eine Ader der ankommenden Mikrofonleitung gegenüber der Erde (oder dem Verstärker-Nullpunkt) Tonspannung. Diese Leitungsart nennt man „unsymmetrisch". Bei Verwendung eines Eingangsübertragers *(Abb. 8a)* sind die Klemmen a...b erdfrei. Eine etwa angeschlossene Mikrofonleitung muß gut abgeschirmt sein, denn Leitungen dieser Schaltungsart sind besonders störanfällig (Gegenbeispiel: Erdfreie Heizleitungen in alten Röhrengeräten stören besonders stark). Macht man die ankommende Mikrofonleitung wieder unsymmetrisch, indem man eine Eingangsklemme mit Erde verbindet *(Abb. 8b)*, dann geht die Störanfälligkeit stark zurück, und bei nicht zu langen Leitungen (bis 5 m) kann man bereits mit unabgeschirmtem

Kabel auskommen (Gegenbeispiel: Einseitig geerdete Heizleitungen stören weniger!). Die günstigste Anschlußart für niederohmige Mikrofone ist in den *Abb. 8c...8f* dargestellt. Hier führen beide Leitungsadern gegenüber Erde die gleiche Tonspannung, weshalb man von einer „erdsymmetrischen" Leitung spricht.

Unwillkürlich drängen sich hier Vergleiche mit der Schaltungstechnik in Heizkreisen auf, aus der bekannt ist, daß erdsymmetrische Heizleitungen (mittelangezapfte Heizwicklung, Entbrummer) besonders wenig Störungen verursachen.

Wenn ein Eingangsübertrager eine Mittelanzapfung hat, wählt man am einfachsten die Schaltung nach Abb. 8c. Fehlt die Anzapfung, dann schafft man sich eine künstliche Mitte durch einen ohmschen (Abb. 8d) oder kapazitiven (Abb. 8e) Spannungsteiler. Richtwerte für Widerstände sind 2 x 1 kΩ und für Kondensatoren 2 x 10 nF. Wichtig ist, daß beide Schaltelemente untereinander völlig gleich sind (nachmessen!).

In Abb. 8f ist noch eine besondere Schaltungsfeinheit dargestellt. Weil eine Mikrofonbatterie infolge ihrer Kapazität gegen Erde die Symmetrie stören kann, wenn sie in einen Ast der Leitung eingefügt wird, empfiehlt sich dafür ein Übertrager mit aufgetrennter Sekundärmitte. Wenn irgend möglich, sollte der Praktiker alle niederohmigen Mikrofonleitungen erdsymmetrisch ausführen, um dadurch das teure Abschirmkabel einzusparen.

3.8 Betriebsbereitschaft, Wartung und klimatische Einflüsse

Wenn man bei der Auswahl eines Mikrofons gewissenhaft alle in den Abschnitten 3.1...3.7 besprochenen Eigenschaften gegeneinander abgewogen hat, wird die endgültige Entscheidung sehr oft von Fragen der Betriebsbereitschaft, der Wartung und vom Verhalten gegenüber klimatischen Einflüssen bestimmt. Freilich, in den Firmen-Druckschriften findet man selten etwas über diese Dinge. Man muß auf eigene oder auf die Erfahrungen anderer Praktiker zurückgreifen können. Daß hierbei oft Zusammenhänge eine Rolle spielen,

die man vorweg selten bedenkt, sollen einige Beispiele aus der Praxis des Verfassers beleuchten:

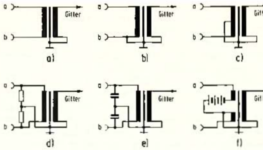
Bei einer Serie von Wintersport-Veranstaltungen wurde ein Lautsprecherwagen benötigt. Als Mikrofon diente ein zufällig vorhandenes, vorzügliches Kondensator-Mikrofon, das wegen der Gefahr akustischer Rückkopplung aus etwa 3 cm Entfernung besprochen werden mußte. Zwei Tage später war es defekt, die Mikrofonkapsel hatte Feinschluß bekommen. Nachdem der Schaden in der Fabrik des Herstellers behoben worden war, wurde das Mikrofon unter gleichen Bedingungen erneut in Betrieb genommen, und nach weiteren zwei Tagen versagte es wieder. Nachdem der gleiche Fehler zum drittenmal aufgetreten war, gingen wir der Ursache auf den Grund: Die hauchdünne Metallmembran wies winzige Löcher auf, die allerdings erst sichtbar wurden, wenn man sie gegen das Licht hielt. Beim Besprechen in der strengen Kälte hatte sich zwischen Membran und Gegenelektrode Kondenswasser gebildet, das unter dem Einfluß der Kapsel-Vorspannung die Membran elektrolytisch zersetzte und dadurch zerstörte. Lehre: Bei strenger Kälte soll man ein Kondensator-Mikrofon nie aus nächster Nähe besprechen.

Hierauf wurde im Lautsprecherwagen ein Tauchspul-Mikrofon verwendet, das lange Zeit wegen seiner Robustheit vorzügliche Dienste tat. Eines Tages begann es zu klirren, weil die Tauchspule im Luftspalt anstreifte. Auch hier fanden wir die Ursache, als wir das Mikrofon auseinandernahmen. Während einer Regenperiode hatte der Lautsprecherwagen mehrere Wochen im Freien unter einem Dach gestanden. Durch die Luftfeuchtigkeit hatte sich im Luftspalt des Magneten Rost angesetzt. Lehre: Auch das besonders robuste Tauchspul-Mikrofon soll nicht zu lange in feuchter Umgebung bleiben, es sei denn, der Magnet besteht aus gutem rostfreiem Stahl.

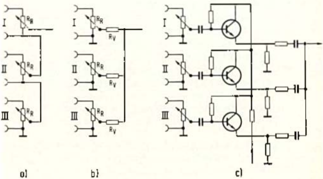
Im Tanzsaal eines Hotels hing über dem Musikpodium ein Kohle-Querstrom-Mikrofon, das zur Übertragung der Hauskapelle diente. Schon nach wenigen Wochen beklagte man sich darüber, daß die Übertragung von Tag zu Tag leiser wurde. Der Lautstärkeverlust

ließ sich mit dem Potentiometer am Verstärker nicht mehr ausgleichen. Die Ursache war rasch gefunden. Mit der Zeit setzt sich das Kohlepulver im Mikrofon, so wie sich das lose Erdreich in einer Baugrube „setzt". Die Membran wird dadurch immer stärker am Schwingen gehindert. Nachdem das Mikrofon einige Male im abgeschalteten (!!!) Zustand kräftig durchgeschüttelt wurde, war die alte Empfindlichkeit wieder hergestellt. Leider war es mit dem öfteren Schütteln so eine Sache, denn das Mikrofon hing sehr hoch und war schwer zugänglich. Ganz übel wurde es im Sommer, als die Hauskapelle im Garten-Pavillon musizierte. Es gab eine Reihe von Regentagen, und unser Kohle-Mikrofon holte sich den „Schnupfen". Die Kohlefüllung hatte Luftfeuchtigkeit angezogen, so daß sie zusammenbackte. Alles Schütteln half nichts mehr, das Mikrofon mußte in Ofennähe mehrere Tage regelrecht getrocknet werden. Recht glücklich wurde man damals erst, als ein Tauchspul-Mikrofon angeschafft wurde. Lehre: Kohle-Mikrofone vor jeder Übertragung gut durchschütteln, deshalb nicht an schwer zugänglicher Stelle aufhängen und vor feuchter Luft schützen.

In einem anderen Hotel wollte man es gleich besser machen und sah ein Kondensator-Mikrofon vor. Es war ein älteres Modell mit Röhrenvorverstärker, wie man es heute gelegentlich aus professionellem Überschuß billig bekommt. Daß es viel größer ist als moderne Typen, wird von der hohen Übertragungsgüte ausgeglichen, und die Abmessungen spielen bei dieser Anwendung keine Rolle. Damit das Netzanschluß-Gerät nicht im Wege steht, sollte es beim Verstärker aufgestellt und dafür die Anschlußleitung zum Mikrofon entsprechend verlängert werden. Passendes Bleikabel wurde verlegt, aber das Mikrofon klang stark verzerrt und sehr leise. Beim Überprüfen in der Werkstatt arbeitete es einwandfrei, und es ging gar nicht so rasch, bis man endlich dahinter kam, daß in dem langen Bleikabel 50 % der Heizspannung verlorengingen. Nachdem der Vorwiderstand im Netzgerät nachgestellt wurde, war dieses Übel behoben. Lehre: Bei längeren Stromversorgungs-Leitungen immer die Spannung unter Betriebsbedingungen nachmessen. Bei modernen



8 Verschiedene Anschlußmöglichkeiten eines Mikrofonübertragers



9 Die Grundformen von Mischschaltungen

Transistortypen – wir kommen noch darauf zurück – ist eine solche Panne ausgeschlossen, weil nur wenige mA fließen.

Auf einem Fußball-Platz wurde für die Übertragungsanlage ein Kondensator-Mikrofon verwendet. Da es nach jeder Übertragung sorgsam verpackt wurde, tat es brav Sonntag für Sonntag seine Pflicht, bis es plötzlich sang- und klanglos, mitten in einem Meisterschaftsspiel, den Dienst verweigerte. Die Mikrofon-Batterie war erschöpft, und kein Mensch hatte für Ersatz gesorgt. Peinlich! Viel peinlicher war es, als das gleiche wenige Wochen später wieder passierte. Erst als man ein Netzanschluß-Gerät beschaffte, war man dieser Sorge enthoben. Lehre: Laufend den Entladezustand der Mikrofon-Batterie überprüfen, Ersatz bereithalten oder Netzgerät anschaffen!

Der „Flüster-Sänger" einer Tanzkapelle verwendete ein Kristall-Mikrofon eines bestimmten Fabrikates. Alle paar Wochen mußte er es zur Reparatur einsenden. Weil der Fall interessierte, wurde der Sänger bei seiner Arbeit beobachtet. Er sang aus 2 cm Entfernung in das Mikrofon und legte es nach jedem Musikstück neben sich auf einen Heizkörper, weil dieser bequem in Reichweite war. Nachdem das Mikrofon kurz darauf wieder versagte, sahen wir es uns einmal von innen an. Durch die Hitze des Heizkörpers hatte sich das paraffinierte Papier gelöst, das die Kristalle vor Feuchtigkeit schützen soll. Diese aber hatten sich von der Atemfeuchtigkeit regelrecht „vollgesogen", und – waren dicht daran, sich aufzulösen. Nachdem unser Sänger in Zukunft sein Mikrofon auf einem Stuhl ablegte, waren alle Mißstände behoben. Lehre: Kristall-Mikrofone vor Wärme und Feuchtigkeit schützen oder keramische Typen verwenden.

Die Beispiele sollten zeigen, daß auch das Wie und Wo der Anwendung Fragen sind, die zusammen mit den Eigenschaften der verschiedenen Mikrofonarten wohl überlegt sein wollen.

4 Mikrofonübertrager

Die Möglichkeit, niederohmige Mikrofone über einen Übertrager an den Verstärker anzuschließen, ist nicht nur aus den im Abschnitt 3.7 besprochenen Gründen (erdsymmetrische Leitungen) sehr angenehm, sondern auch deshalb, weil ein erheblicher Gewinn an Lautstärke erzielt werden kann. Bei Kohle-Mikrofonen ist die Verwendung eines Übertragers sogar Bedingung, um die Gleichspannung der Mikrofonbatterie vom Verstärker fernzuhalten. Je nach dem Übersetzungsverhältnis (z. B. 1 : 20) kann der Gewinn an Tonspannung der Wirkung einer Verstärkerstufe gleichkommen. Da der Aufwärtsübertragung durch den Scheinwiderstand des Verstärker-Eingangs Grenzen gesetzt sind, muß man das höchstzulässige Übersetzungsverhältnis von Fall zu Fall berechnen. Das ist recht einfach.

$$\ddot{U} = \sqrt{\frac{R_E}{R_M}}$$

Ü = Übersetzungsverhältnis
R_E = Eingangswiderstand
R_M = Innenwiderstand des Mikrofons

Beispiel: Tauchspul-Mikrofon 200 Ω
Beispiel: Verstärkereingang 100 000 Ω

$$\ddot{U} = \sqrt{\frac{100000}{200}} = \sqrt{500} = 22{,}4$$

Das höchstzulässige Übersetzungsverhältnis beträgt 1 : 22,4. Man wird also die übliche Ausführung 1 : 20 wählen.

Der Scheinwiderstand des Verstärkereingangs wird im wesentlichen vom Eingangswiderstand der ersten Stufe (evtl. Lautstärkeeinsteller) bestimmt. Man soll jedoch aus Gründen der Übertragungsgüte bei der Berechnung den Wert von 100 kΩ nicht überschreiten,

auch wenn der Eingangswiderstand der ersten Stufe größer als 100 kΩ ist.

An Mikrofonübertrager werden sehr hohe Qualitätsanforderungen gestellt, damit sie den großen Tonumfang neuzeitlicher Mikrofone auch einwandfrei übertragen. Hochwertige Eisensorten, kapazitätsarme und verschachtelte Scheibenwicklungen werden bei besseren Ausführungen angewendet. Oft findet man starkwandige Panzerungen aus Eisen oder Mu-Metall, um diesen besonders störanfälligen Übertrager auch in der Nähe starker Störfelder (Netztransformatoren) betreiben zu können.

Mikrofonübertrager für Kohle-Mikrofone müssen einen Kern mit Luftspalt erhalten, damit durch den Mikrofon-Gleichstrom nicht die Übertragung der tiefen Töne (wegen der Vormagnetisierung) verschlechtert wird. Moderne Mikrofonübertrager haben trotz hoher Qualität sehr kleine Abmessungen. Die ungekapselten Typen sind nicht größer als ein Stück Würfelzucker, gekapselte Übertrager sind in Becherausführung erhältlich. Letztere haben Einlochbefestigung und ähneln in der Form einem zu niedrig geratenen Elektrolytkondensator (ca. 30 mm ∅, ca. 25 mm Höhe).

Eine besondere Bewandtnis hat es mit den heute viel benutzten *Schnur-* oder *Kabelübertragern*, die sich für die Mikrofone von Tonbandgeräten eingebürgert haben. Die ersten Heimgeräte hatten einen hochohmigen Mikrofoneingang, weil man damals häufig noch preiswerte Kristall-Mikrofone benutzte. Wer höhere Ansprüche stellte, kaufte sich ein dynamisches Mikrofon, und damit dieses richtig angepaßt wird (Innenwiderstand ca. 200 Ω), enthielt es einen eingebauten Aufwärtsübertrager, der es hochohmig machte. Bei dieser nach Ansicht des Verfassers recht unglücklichen Lösung ist es bis heute geblieben, und *unglücklich* ist diese Schaltungsart deshalb zu nennen, weil sich die hochohmige Mikrofonleitung aus den im Abschnitt 3.6 gesagten Gründen nicht ohne weiteres verlängern läßt.

Das bewies auch sehr bald die Praxis, weshalb sich die Mikrofon- und Tonbandgeräte-Hersteller einen Ausweg einfallen ließen. Der mehrpolige Mikrofonkabel-Stecker der meisten Tonband-Mikrofone

enthält einen niederohmigen und einen hochohmigen Anschluß, wobei der zuerst genannte vor dem eingebauten Übertrager, der andere dahinter abzweigt. Beim Betrieb des Mikrofons ohne Verlängerungskabel führt man seinen Stecker mit dem hochohmigen Anschluß unmittelbar in die Buchse am Tonbandgerät ein. Benötigt man zusätzliche Kabellängen, dann werden diese niederohmig angeschaltet, und erst unmittelbar vor dem Tonbandgerät steckt man einen Schnurübertrager zwischen Kabelende und Mikrofon-Eingangsbuchse. Dieses Zwischenstück ist weiter nichts als ein Miniaturübertrager, der auf der niederohmigen Seite mit einer Steckkupplung und auf der hochohmigen mit einem Stecker versehen ist. Er sorgt dafür, daß die lange Mikrofonleitung niederohmig bleibt und daß die Aufwärtsübertragung erst unmittelbar vor der Eingangsbuchse erfolgt. Weitere Einzelheiten werden im Abschnitt 13 mitgeteilt.

Eine Regel soll grundsätzlich immer beachtet werden: Wer teure und hochwertige Mikrofone verwendet, darf auch beim zugehörigen Übertrager nicht auf den Preis sehen. Aus Qualitätsgründen verdient das Beste vom Besten den Vorzug.

5 Mischtechnik

Bei größeren Übertragungen wird es mitunter erforderlich, die Darbietungen von mehreren Mikrofonen zu mischen. Die beiden Grundschaltungen sind in *Abb. 9a* und *9b* dargestellt. Vorzüge und Nachteile beider Schaltungen und ungefähre Richtwerte sind in *Tabelle 2* zusammengestellt. Die Entkopplungswiderstände R_V in der Schaltung nach Abb. 9b werden vorteilhaft durch Transistoren ersetzt, wie es *Abb. 9c* zeigt. Dadurch wird statt einer Dämpfung eine Verstärkung erreicht, und was am wichtigsten ist, die Scheinwiderstände der vorgeschalteten Mikrofone können völlig verschieden sein. Falls zwischen Mikrofon und Mischpotentiometer R_R noch Übertrager geschaltet werden sollen, dann ist deren Übersetzungsverhältnis nach Abschnitt 4 zu berechnen. R_E entspricht dann dem Wert des Mischpotentiometers R_R.

Beim Arbeiten mit Mischpulten ist es unerläßlich, daß die angeschlossenen Tonspannungsquellen an den Mischpotentiometern mit ungefähr gleichem Pegel anliegen. Mit anderen Worten: Es darf nicht vorkommen, daß etwa ein Plattenspieler bei 1/4 aufgezogenem Potentiometer schon Vollaussteuerung erzielt, während etwa ein Mikrofonpotentiometer für Vollaussteuerung „bis zum Stehkragen" aufgezogen werden muß. Das Bedienen des höherpegeligen Mischpotentiometers artet dann nämlich in regelrechte Fingerakrobatik aus. Weil nun aber unterschiedliche Quellen auch unterschiedliche Pegel liefern, muß man in geeigneter Weise für einen Pegelvorabgleich sorgen. Das wird häufig mit einem zusätzlichen Potentiometer stufen*los* bewerkstelligt, das unmittelbar hinter den Eingangsklemmen liegt. Genauso gut ist der Pegelangleich in *gröberen* Stufen möglich. Eine elegante Problemlösung wendet Radio-Rim in seinem

Tabelle 2. Eigenschaften der Misch-Schaltungen

	Schaltung Abb. 9a	Schaltung Abb. 9b	Schaltung Abb. 9c
R_R	$= R_M$ 1)	$\approx R_M$ 1)	$\approx R_M$ 1)
R_V		$\approx 2 \cdot R_R$	
R_A			$= \frac{1}{n} \cdot$ Listenwert
R_K			$= \frac{1}{n} \cdot$ Listenwert
Vorzüge	kein Lautstärkeverlust	übersprechsicher Mikrofone müssen nicht nicht erdfrei geschaltet sein	übersprechsicher mindestens 10fache Verstärkung Mikrofone müssen nicht erdfrei geschaltet sein Unterschiedlicher R_M möglich
Nachteile	Mikrofone müssen teils erdfrei geschaltet sein Gleicher R_M erforderlich	Lautstärkeverlust auf $\frac{1}{n}$ Gleicher R_M erforderlich	

1) Bei Verwendung eines Mikrofonübertragers siehe Text.

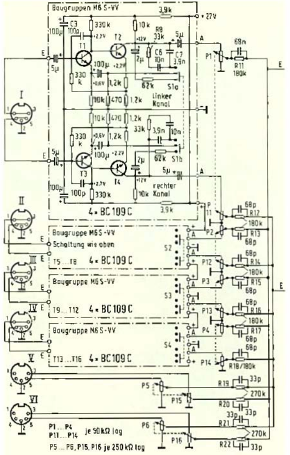
R_R = Widerstand des Potentiometers
R_V = Längswiderstand
R_K = Kollektorwiderstand
R_M = Innenwiderstand des Mikrofons
n = Anzahl der Mischpotentiometer

Stereomischpult M 6 S an, das in Baugruppentechnik aufgebaut ist und als Bausatz geliefert wird.

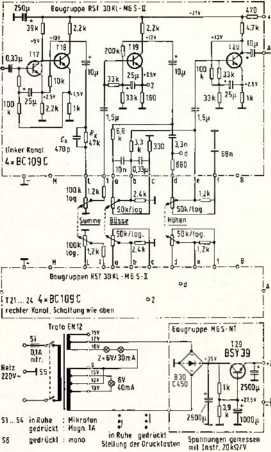
Die Eingänge I...IV *(Abb. 10)* laufen über Vorverstärker, die je nach Stellung der internen Schiebeschalter S 1 entweder als lineare Mikrofonverstärker oder als Entzerrer für magnetische bzw. dynamische Tonabnehmer betrieben werden können. Die Eingangsempfindlichkeit liegt bei Mikrofonbetrieb bei 1,2 mV an 20 kΩ und bei Entzerrerbetrieb beträgt sie 3,5 mV an 47 kΩ. Die Eingänge V und VI sind für höherpegelige Quellen vorgesehen, etwa für Kristalltonabnehmer, Tuner oder Tonbandgeräte. Die Eingangsempfindlichkeit beträgt 250 mV an 250 kΩ. Vorverstärker sind also nicht erforderlich. In Kürze einige schaltungstechnische Besonderheiten: Der Kondensator C 3 am ersten Transistor unterdrückt Schwingen bei hohen Frequenzen. Der Emitter der ersten Stufe erhält über S 1 eine Gegenkopplungsspannung. In Stellung Mikrofon ist die Gegenkopplung frequenzunabhängig, bei Tonabnehmerbetrieb werden über C 6 – C 7 und R 8 die Höhen mehr gegengekoppelt als die Tiefen.

Über die Entkopplungswiderstände R 11...R 22 gelangt die Tonfrequenz zur senkrecht gezeichneten Sammelschiene (Knotenpunkt). Die kleinen parallel zu den Entkopplungswiderständen geschalteten Kapazitäten kompensieren den kaum vermeidbaren Höhenverlust infolge der hochohmigen Verhältnisse am Knotenpunkt.

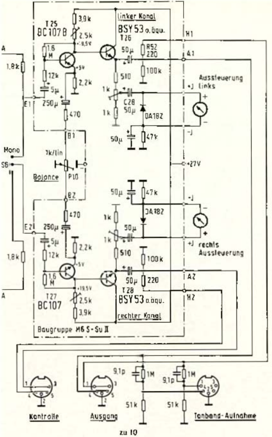
Die Klangregelstufe arbeitet in ähnlicher Schaltung wie die Vorverstärker. Die ersten beiden Transistoren sind stark gegengekoppelt, sie gleichen die Knotenpunktdämpfung wieder aus und liefern einen genügend hohen Pegel zum Summenpotentiometer. Zwischen dritter und vierter Stufe liegen die Potentiometer für die Klangbeeinflussungs-Netzwerke, die schließlich auf die vierte Stufe (T 20) arbeiten. Von dort geht es zur Ausgangsstufe mit den Transistoren T 25...T 28, vor der der Mono-/Stereoumschalter S 6 liegt. In der gezeichneten Stellung liegt er auf 'Stereo', in der anderen schaltet er den linken Monokanal auf den rechten Stereokanal.



10 Modernes Stereo-Transistor-Mischpult


Baugruppe RST 30KL-M6S-II
linker Kanal
4×BC109C
Summe
Bässe
Höhen
Baugruppen RST 30KL-M6S-II
T21 ... 24 4×BC109C
rechter Kanal, Schaltung wie oben
Trafo EK12
Netz 220V~
Z-6V/30mA
6V 40mA
Baugruppe M6S-NT
T29 BSY39
B30 C450
S1 ... S4 in Ruhe : Mikrofon
gedrückt : Magn. TA
S6 gedrückt : mono
in Ruhe gedrückt
Stellung der Drucktasten
Spannungen gemessen mit Instr. 20kΩ/V

zu 10



T25
BC107B
3,9k
2,5k
linker Kanal
BSY53 o. äqu.
T26
H1
R52
220
A1
1,8k
1,6 M
12k
5µ
2,2k
510
100k
Aussteuerung links
E1
250µ
470
1k
C28
50µ
1k
0A182
B1
50µ
47k
Mono
1k/lin
S6
+27V
Balance
P10
B2
50µ
47k
470
0A182
E2
250µ
1k
50µ
5µ
1k
rechts Aussteuerung
1,8k
12k
2,2k
510
100k
1,6 M
50µ
220
A2
H2
T27
BC107
2,5k
3,9k
T28
BSY53 o. äqu.
rechter Kanal
Baugruppe M6 S-Su II
9,1p
1M
9,1p
1M
51k
51k
Kontrolle
Ausgang
Tonband-Aufnahme
zu 10

Die erste Ausgangsstufe (T 25/T 27) enthält im Emitterkreis den Balanceeinsteller P 10, der den Emitterwiderstand stufenlos kapazitiv überbrückt und damit die Verstärkung in beiden Kanälen einstellt. Über T 26/T 28 gelangt die Tonfrequenz niederohmig (Emitter-Auskopplung), also impedanzgewandelt, über R 52 zur Kontrollbuchse bzw. zu einem angesteckten Kopfhörer oder einen Mithörverstärker. Der Ausgang zu den Leistungsendstufen mit einer Eingangsempfindlichkeit von 775 mV an 1 kΩ liegt an der Buchse 'Ausgang' und über Entkopplungsglieder an der Buchse für Tonbandaufnahmen. Über C 28 wird die Ansteuerung für den Aussteuerungsmesser abgezweigt.

6 Kohle-Mikrofone

Kohle-Mikrofone waren in mannigfachen Ausführungen im Handel. Eine kleine Auswahl ist in *Abb. 11* gezeigt. Heute werden sie (mit Ausnahme der Fernsprechkapsel) kaum mehr hergestellt, weil moderne Tauchspul- und Kristall-Mikrofone mit weitaus besseren akustischen Eigenschaften bereits für rund 4 DM zu haben sind. Trotzdem wollen wir uns auch mit Kohle-Mikrofonen befassen, weil sie der Praktiker häufig aus Restbeständen für wenig Geld erwerben kann. Die einfachen, aber besonders lautstarken Ausführungen sind Längsstrom-Mikrofone, während die besseren Modelle, die auch für Musikübertragungen geeignet sind, nach dem Querstrom-Prinzip arbeiten. Bei den billigen Typen besteht die Membran aus Kohle. Sie stellt die eine Elektrode dar, während die zweite in geringem Abstand dahinter angeordnet ist. Zwischen beiden befindet sich die Kohlefüllung. Der Strom fließt *längs* der Beschallungsrichtung. Bei den Querstromausführungen ist die Membran nichtleitend, die Elektroden befinden sich rechts und links (oder oben und unten) und der Strom fließt in *Quer*richtung.

6.1 Längsstrom-Mikrofone

Der verbreitetste Vertreter dieser Mikrofonklasse ist die Postkapsel. Wie aus Abschnitt 3.2 hervorgeht, eignet sich dieses einfachste und billigste Mikrofon nur für Sprachübertragung, denn hierfür wurde es ja entwickelt. In Rufanlagen, Schaubuden, Amateursendern und ähnlichen Einrichtungen wird es gern verwendet, weil es bereits einstufige Verstärker auszusteuern erlaubt. Man benutzt es deshalb vielfach als Handmikrofon. Meist ist im Handgriff ein Druckknopf-

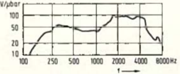
schalter untergebracht, der den Speisestrom oder ein Relais einschaltet.

Bis vor kurzem wurde ein solches Postmikrofon als ganz billiger Notbehelf betrachtet, denn die bisherigen Ausführungen wiesen sehr ausgeprägte Resonanzstellen auf (vgl. Abb. 1), wodurch der typische plärrende Telefonklang entstand. Seit einigen Jahren hat sich hier — von der Öffentlichkeit viel zu wenig beachtet — eine gründliche Wandlung vollzogen. Unter der Postbezeichnung SK 57 (Siemens-Bezeichnung = 9 Fg. mph. 97) gibt es heute Längsstrom-Mikrofone, die einen sehr ausgeglichenen Frequenzverlauf aufweisen *(Abb. 12)*. Die starken Resonanzüberhöhungen sind fast völlig verschwunden, und die verbliebenen Reste ebnen die Luftpolster hinter der sogenannten Einsprache ein. Das ist der perforierte Schraubverschluß, der die Kapsel im Telefonhörer festhält. Der Praktiker kommt zu einem sehr gut brauchbaren Sprechmikrofon, das noch dazu billig ist (Kapselpreis bei den Telefonbau-Firmen etwa 2.50 DM), wenn er einen alten Handhörer entsprechend absägt, eine Kapsel dieser Art einsetzt und (das ist wichtig) sie auch mit der zugehörigen Einsprache verschließt.

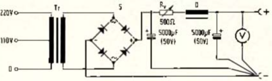
Auch Körperschall-Mikrofone werden nach dem Längsstrom-Prinzip ausgeführt. In Abb. 11 ist u. a. ein Kehlkopf-Mikrofon gezeigt, wie es in lärmerfüllten Räumen (Fabrikhallen) angewendet werden kann, ohne daß störender Nebenschall mit übertragen wird. Im allgemeinen hat man selten damit zu tun, aber wir wollen dem Kurzwellenamateur einen Tip geben, wie er solche Mikrofone, die in großen Mengen aus ehemaligen kommerziellen Beständen auf den Markt kamen, sinnvoll anwenden kann: Eine der Mikrofonkapseln wird auf der Berührungsfläche mit Alleskleber bestrichen, auf die Rückseite eines Weckers gekittet, und ... fertig ist das automatische Pausenzeichen.

Die Betriebsspannung solcher Längsstrom-Mikrofone liegt zwischen 1 und 6 Volt, während der Strom selten 50 mA überschreitet.

11 Verschiedene Kohlemikrofone. Hinten ein selbstgebautes Querstrom-Mikrofon nach Reisz und der alte Dralowid-Reporter, vorn von links nach rechts: US-Handmikrofon T 17, Telefunken-Kohle-Mikrofon für Lautsprecherwagen, zwei Postkapseln, zwei Kehlkopf-Mikrofone



12 Frequenzverlauf einer modernen Post-Mikrofonkapsel



13 Schaltung eines Netzgerätes zur Speisung von Kohle-Mikrofonen. D = ca. 25 H/400 Ω; T = Heiztransformator 25 V/0,1 A; S = Brückengleichrichter 25 V/0,1 A

6.2 Querstrom-Mikrofone

Wie wir bereits erwähnten, wurde das bekannteste Querstrom-Mikrofon, nämlich das Reisz-Mikrofon, zum Symbol des Rundfunks der „Gründerjahre". Es war das erste zuverlässig arbeitende Musik-Mikrofon, denn es gelang hier auf verhältnismäßig einfache Art, schädliche Resonanzstellen zu vermeiden. Als Membran dient eine dünne Gummihaut, und das Gehäuse – sofern man diesen Ausdruck überhaupt verwenden darf – ist ein massiver, ziemlich schwerer Marmorblock. Das Kohlerauschen wird dadurch klein gehalten, daß aufgerauhte, großflächige Kohleelektroden einen besonders innigen Kontakt mit der Füllkohle herstellen. Der Frequenzumfang wird von der Tiefe der Kohlekammer (ca. 2 mm) und der richtigen Mischung verschieden körnigen Kohlepulvers bestimmt. Das Reisz-Mikrofon wurde mit mancherlei Abänderungen nachgebaut, wodurch nicht nur recht gute, sondern durch Massenherstellung außerordentlich preiswerte Querstrom-Mikrofone in den Handel gelangten. Besonders weitverbreitet war in den dreißiger Jahren ein wohlfeiles Querstrom-Mikrofon der Dralowid-Werke mit dem Namen „Dralowid Reporter". Zur Verbilligung wurde bei diesem und ähnlichen Mikrofonen der Block aus Keramik oder einem Preßstoff hergestellt. Als Membranmaterial findet außer Gummihaut noch Glimmer, Kunstharz oder imprägniertes Papier Verwendung. Solche Papiermembranen hat der Verfasser früher oft zu Reparaturzwecken selbst hergestellt. Man verwendet hierzu sehr dünnes und festes Schreibmaschinen-Durchschlagpapier und bestreicht es mit einem Spannlack, wie er auch für den Flugzeug-Modellbau verwendet wird. Nach dem Trocknen ist die Membran spiegelglatt und wasserfest. Das Mikrofon muß vor dem Lackieren der Membran natürlich entleert werden, weil sonst das Kohlepulver vom Lack durchsetzt wird, denn das Lackieren der Membran muß im zusammengebauten Zustand erfolgen.

Als Elektroden dienen bei manchen Ausführungen vergoldete Metallschienen, deren Oberfläche durch Riffelung vergrößert wurde.

Kohle-Mikrofone altern mit der Zeit, weil die einzelnen Körnchen der Füllung allmählich verschmoren. Von Zeit zu Zeit soll die Füllung daher erneuert werden. Bei dieser Gelegenheit soll auch die Kohlekammer mit einem weichen Pinsel gesäubert und die Elektroden sollen mit Chloroform entfettet werden.

6.3 Netzgerät für Kohle-Mikrofone

Aus Gründen der Betriebssicherheit ist die Entnahme der Speisespannung (siehe auch Abschnitt 3.8) aus einem Netzgerät nach *Abb. 13* empfehlenswert. Richtwerte für die Einzelteile sind dort angegeben. Mit dem Vorwiderstand R_V kann die erforderliche Spannung im Betrieb eingestellt werden. Die sehr hohen Kapazitäten der Elektrolyt-Kondensatoren erreicht man notfalls durch Parallelschalten handelsüblicher Werte. Es ist darauf zu achten, daß die Gehäuse dieser Kondensatoren vom Chassis isoliert werden müssen und daß jeder Kondensator für sich mit starkem Draht (1...2 mm ∅) mit der Minusklemme verbunden wird.

6.4 Selbstbau eines Kohle-Querstrom-Mikrofons

Zuerst ein offenes Wort über den Selbstbau von Mikrofonen überhaupt:

Auch das ausführlichste „Kochrezept" verbürgt nicht, daß das nachgebaute Mikrofon genau die gleichen Eigenschaften aufweist wie das Mustermikrofon. Es kann schlechter, aber auch ebensogut besser ausfallen. Die Mikrofonfabriken unterhalten nicht zum Vergnügen ein umfangreiches Meßfeld, in dem jedes einzelne Stück sorgfältig untersucht und auf den Sollwert gebracht wird.

Und noch eine Überlegung: Selbstbau lohnt sich heute nur noch zu Studienzwecken, aus Freude am Basteln auch noch, aber man spart kein Geld mehr dabei.

Das nachstehend beschriebene Mikrofon läßt sich besonders leicht selbst bauen; eine Werkstatteinrichtung ist dazu nicht erforderlich. Eins kann im voraus garantiert werden, nämlich, daß es eine

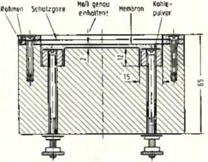
resonanzfreie Übertragung liefert und sehr viel besser ist als das teuerste Längsstrom-Mikrofon.

Abb. 14 zeigt Form und Abmessungen des Marmor-Mikrofonblocks, den man sich von einem Schalttafel-Hersteller oder Steinmetz (Grabsteine!) anfertigen läßt. Zwei längliche Mulden dienen zur Aufnahme der beiden Kohle-Elektroden, die man sich aus einem Stück Bogenlampenkohle (in vielen kleineren Kinos als Abfall zu haben) zurechtschleift. Die Kohlekammer, die das Kohlepulver aufnimmt, ist genau 2 mm tiefer als der äußere Rand des Blocks. Zwei Schrauben mit Gegen- und Rändelmuttern halten die Elektroden und dienen zum Anschluß. Zwei Rähmchen aus Hartpapier schließen den Block nach außen ab. Das äußere ist mit Gaze, das innere mit der Membran hinterlegt. Die Membran wurde aus einem Operationshandschuh herausgeschnitten. Die Gaze klebt man in nassem Zustand mit Leim auf den Rahmen, weil sie sich nach dem Trocknen dann schön straff spannt. Die Gummihaut klebt man dagegen mit Gummilösung oder Alleskleber, und zwar so, daß sie gerade faltenfrei, jedoch nicht zu straff gespannt ist.

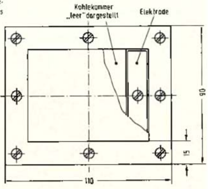
Die Befestigungsschrauben der Rähmchen haben Gewinde M 4 und passen in Gewindelöcher, die im Block angebracht sind. Es wurde jedoch auch schon mehrfach mit bestem Erfolg ein Block aus einzelnen Hartpapier-Platten zusammengekittet. Die einzelnen Platten wurden nach der oberen Teilskizze (Abb. 14) einzeln angerissen, die Ausschnitte für die Elektroden-Mulden und die Kohlekammer mit der Laubsäge ausgeschnitten und die Platten zum Schluß mit Alleskleber verkittet. Der so gewonnene Block kann noch poliert werden und macht dann einen durchaus fabrikmäßigen Eindruck. Je dicker das Material der einzelnen Platten ist, um so weniger Arbeit hat man. Zu beachten ist lediglich, daß die Platte, die die Tiefe der Kohlekammer bestimmt, aus 2 mm starkem Hartpapier geschnitten werden muß. An passender Stelle (Schwerpunktlage beachten!) werden noch zwei Aufhängeösen angebracht, damit das Mikrofon an Gummistrippen oder Schraubenfedern erschütterungsfrei (wichtig

für alle Kohle-Mikrofone!) in einem Rahmen oder Ring aufgehängt werden kann.

Die erforderliche Speisespannung beträgt 3...8 Volt. Die Hörkennlinie ist kugelförmig und die Empfindlichkeit beträgt *ohne* Übertrager etwa 2 mV/μbar.



14 Draufsicht und Schnittzeichnung des selbstgebauten Kohle-Querstrom-Mikrofons



7 Kondensator-Mikrofone

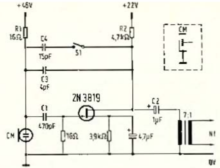
Das vermutlich am weitesten verbreitete Kondensator-Mikrofon stammt von Georg Neumann, Berlin. Der Verfasser sah es noch 1973 auf einer Studienreise nach den USA dort im Studiobetrieb. Es arbeitet nach dem klassischen Nf-Betrieb, enthält eine 4-V-Batterieröhre RE 084 k (k = klingarm), und es wird wegen seiner Form und Größe scherzhaft als „Thermosflasche" bezeichnet.

7.1 Einstufige Nf-Ausführungen

Soviel zur Historie. Heute hat längst der Transistor die Röhre verdrängt. *Abb. 15* zeigt die Innenschaltung eines modernen Nf-Kondensator-Mikrofons.

Die Kapazität der Mikrofonkapsel CM beträgt rund 36 pF. Demnach besitzt sie bei 50 Hz einen kapazitiven Innenwiderstand von 100 MΩ. Jeder Praktiker weiß, daß bereits eine Leitung mit vielleicht 100 kΩ Scheinwiderstand ungemein brummanfällig ist und praktisch nicht verlängert werden kann. Bei 100 MΩ ist das noch sehr viel kritischer, und es hat sich gezeigt, daß die Verbindung zum Gatter der ersten Vorverstärkerstufe am besten nur wenige Millimeter lang gemacht wird. Deshalb sitzt diese unmittelbar im Mikrofongehäuse.

Zum besseren Verstehen der Wirkungsweise benutzt man in Schaltbildern nur ungern das genormte Zeichensymbol (vgl. links in Abb. 15), sondern man zeichnet die Kapsel so, wie sie in Wirklichkeit aufgebaut ist. Die mit Masse verbundene Elektrode (oben rechts in Abb. 15 im Rahmen) ist die hauchdünne, metallisierte Membran, die mit einem Abstand von Bruchteilen eines Millimeters vor der dahinter isoliert angebrachten Gegenelektrode schwingt. An der Ge-



15 Grundschaltung eines einstufigen Nf-Kondensator-Mikrofons

16 Außenansicht der Mikrofone KM 83 (Kugel), KM 84 und KM 85 (Niere) von Neumann in halber Größe

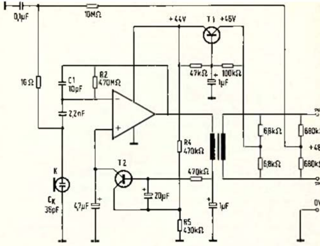
genelektrode liegt über den Widerstand R 1 die Kapsel-Vorspannung, die 46 V beträgt.

Beim Besprechen der Kapsel CM schwingt die Membran nach vorn und hinten und vergrößert bzw. verkleinert dabei den Abstand und die Kapazität mit der Gegenelektrode. Durch diese Umladungsvorgänge entstehen Spannungsschwankungen in Gestalt von Tonfrequenzen, die über den Gatterkondensator C 1 zum Transistor 2 N 3819 gelangen.

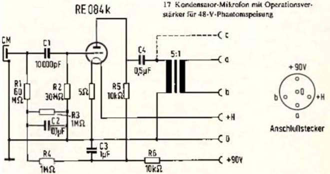
R 2 ist der Arbeitswiderstand des Transistors, an den über C 2 gleichstromfrei der Leitungsübertrager 7 : 1 angeschlossen ist. Diese Abwärtstransformation sorgt dafür, daß die abgehende Tonleitung niederohmig wird und etwa eine Impedanz von 200 Ω annimmt. Durch die gleichstromfreie Ankopplung (C 2) wird eine Vormagnetisierung des Übertragers verhindert und damit der Frequenzbereich bei den Tiefen verbessert. Der Kondensator C 3 bewirkt eine leichte Gegenkopplung, und der Schalter S 1 kann noch einen weiteren Kondensator (C 4) parallelschalten, der eine Vordämpfung von 10 dB bewirkt. Die Außenansicht eines solchen Mikrofons zeigt *Abb. 16*.

7.2 Mehrstufige Nf-Ausführungen

Die Übersteuerungsgrenze von Hi-Fi-Mikrofonen muß nach DIN 45 500 so hoch liegen, daß noch ein Grenzschalldruck von 10 Pa mit einem Klirrfaktor unter 1 % übertragen werden kann. Das erfordert gegengekoppelte mehrstufige Verstärker. Neuere Typen enthalten spezielle Operationsverstärker. Der Verstärker nach *Abb. 17* ist so weit aussteuerbar, daß er auch noch Schalldrücke von 160 Pa und mit Vordämpfung von 500 Pa verzerrungsfrei übertragen kann. Es handelt sich um den Verstärker für ein Solistenmikrofon, das durch ein doppelwandiges Gehäuse (Georg Neumann, Berlin) mit weicher Zwischenlage gegen Griffgeräusche gesichert ist. Man braucht wenig Phantasie, um sich die verzerrungsfrei zu verarbeitenden Schalldrücke vorzustellen; sie entsprechen der Stimmgewalt



17 Kondensator-Mikrofon mit Operationsverstärker für 48-V-Phantomspeisung



18 Die Innenschaltung des klassischen Kondensator-Mikrofons aus der Röhrenzeit

eines Sängers in 2 cm Abstand vom Ohr oder dem Schalldruck einer Trompete, ebenfalls unmittelbar am Ohr. Die Kondensatorkapsel (Abb. 17) arbeitet auf den mit einem Feldeffekt-Transistor bestückten invertierenden Eingang des Operationsverstärkers. Der Wert von C 1 bestimmt die Verstärkung, und von R 2 hängt die untere Grenzfrequenz ab. Der Transistor T 2 stabilisiert die Arbeitspunkte der Schaltung, indem er die am Ausgang stehende Gleichspannung mit der durch R 4 und R 5 gebildeten Mittenspannung vergleicht, sie um 180° dreht und dem nichtinvertierenden Eingang zur Gleichspannungs-Gegenkopplung zuführt. Der Transistor T 1 wirkt als Siebglied und elektronischer Widerstand. Auf die Versorgung mit der Betriebsspannung gehen wir in Abschnitt 7.3 ein.

7.3 Die Stromversorgung von Kondensator-Mikrofonen

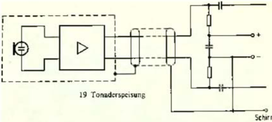
Wer sich als Fachschriftsteller für Praktiker betätigt, merkt sehr bald, daß sich insbesondere jüngere Leser überhaupt nicht für „historische" Betrachtungen interessieren und daß sie eine Röhrenschaltung in jedem Fall als hoffnungslos rückschrittlich ansehen. Daher hat der Verfasser die einzige in diesem Buch vorkommende Röhrenschaltung, die die Zusammenhänge überschaubarer macht, listig an dieser Stelle versteckt.

Abb. 18 zeigt die Innenschaltung des schon auf Seite 54 kurz erwähnten klassischen Nf-Kondensator-Mikrofons, der sogenannten „Thermosflasche". Es brauchte drei verschiedene Betriebsspannungen, nämlich 90 V Anodenspannung, 45 V Kapselvorspannung, die der Spannungsteiler R 3/R 4 erzeugte, und 4 V Heizspannung. Der 5-Ω-Widerstand im Heizkreis war in der Praxis ein Fernsprech-Schauzeichen, das den Einschaltezustand anzeigte. Weil man das fünfpolige Anschlußkabel nicht beliebig verlängern konnte (Spannungsabfall im Heizkreis!), mußte in 5 m Abstand ein Batteriekasten oder ein Netzgerät aufgestellt werden, das war sehr umständlich.

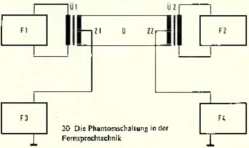
Ein modernes Nf-Kondensator-Mikrofon (vgl. Abb. 17) kommt dagegen mit einer einzigen Spannung aus, und weil nur wenige mA

fließen, treten auch in sehr langen Mikrofonleitungen (Funkhaus, Studios, Film) keine Spannungsabfälle mehr auf, so daß man auf Zentralspeisung übergehen kann und der lästige Batteriekasten in Mikrofonnähe entfällt. Für diese Speisungsart braucht man nicht einmal gesonderte Adern, sondern man schickt den Strom über Entkopplungswiderstände auf die beiden Tonadern. Zwei Verfahren haben sich eingeführt. *Abb. 19* zeigt die Tonaderspeisung nach DIN 45 595. Über zwei gleich große Widerstände wird eine Tonader mit dem Pluspol, die andere mit dem Minuspol der Gleichspannungsquelle verbunden. Trennkondensatoren halten die Gleichspannung vom nachfolgenden Verstärkereingang ab. Der Symmetriepunkt zwischen den beiden Einkopplungswiderständen, also einer der beiden Pole der Gleichspannungsquelle, wird mit dem Kabelschirm, dem Mikrofongehäuse und Masse verbunden. Wird gelegentlich im Studio z. B. ein Tauschspulen-Mikrofon verwendet, so muß man die Speisespannung zweipolig abschalten. Andernfalls würde das dynamische Mikrofon eine Vormagnetisierung erhalten, was zu Verzerrungen führt.

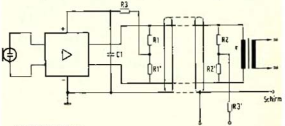
Eine andere Speisungsart, bei der kein Abschalten der Stromversorgung beim Anschluß von Tauchspul-Mikrofonen erforderlich ist, ermöglicht die Phantomschaltung nach DIN 45 596. Der Ausdruck „Phantom" stammt aus der Fernsprechtechnik. Normalerweise sind die Fernsprecher F 1 und F 2 *(Abb. 20)* galvanisch über eine Doppelleitung D verbunden. Schaltet man teilnehmerseitig die Übertrager Ü 1 und Ü 2 ein, dann können über die Mittelanzapfungen und Erde zwei weitere Teilnehmer (F 3 und F 4) miteinander sprechen, ohne die anderen beiden zu stören. Vereinfachte Erklärung: Die Zapfpunkte Z 1 und Z 2 haben stets gleiche Phasenlage, zwischen ihnen kann sich auch keine Tonspannung ausbilden, wenn F 1 und F 2 miteinander sprechen. Von F 3 und F 4 aus betrachtet: Die Tonspannungen zwischen diesen beiden Teilnehmern fließen in jedem Übertrager von der Mittelanzapfung aus z. B. linksherum nach der unteren und rechtsherum nach der oberen Klemme. Dadurch heben sich die magnetischen Wirkungen auf, und in den appa-



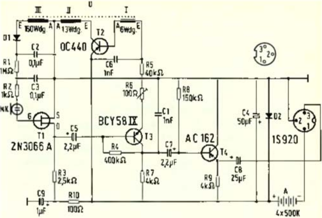
19 Tonaderspeisung



20 Die Phantomschaltung in der Fernsprechtechnik



21 Phantomspeisung



22 Schaltung des FET-Kondensator-Mikrofons mit Gleichspannungswandler für die Kapsel-Vorspannung

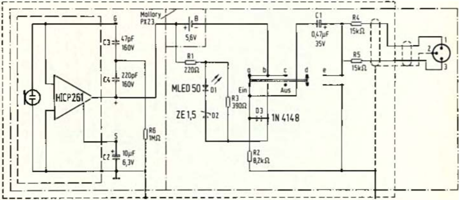
23 Elektret-Superniere MKE 401 (Sennheiser)

rateseitigen Wicklungen entstehen auch keine Tonspannungen aus dem Gespräch F 3 und F 4.

Genausowenig beeinflussen sich Speise- und Tonspannung bei der Phantomspeisung nach *Abb. 21*. Hier fließt der Speisestrom je zur Hälfte über beide Tonadern, er wird über die Symmetriewiderstände oder über die Mittelanzapfung des Übertragers zugeführt und über den Kabelschirm zurückgeleitet. Da beide Tonadern auf gleichem Potential liegen, braucht man keine Trennkondensatoren am Eingang des Verstärkers, es entfällt auch das Abschalten des Speisestroms beim Anstecken eines Tauchspulen-Mikrofons.

Ebenfalls zum Thema „Stromversorgung" gehört folgende Überlegung: Für Transistor-Nf-Kondensator-Mikrofonverstärker braucht man eigentlich keine Speisespannung von 48 V. Man verwendet sie nur, weil die Kapsel eine Vorspannung in dieser Höhe fordert. Daher kamen findige Konstrukteure auf die Idee, den eingebauten Verstärker mit z. B. 5 V aus einer eingebauten Batterie zu betreiben und die erforderliche Kapselvorspannung „irgendwie" anders zu erzeugen. Weil man nur eine *Vorspannung* braucht, also keinen Strom entnimmt, läßt sich das problemlos dadurch erreichen, daß man in einem Hf-Generator eine Wechselspannung erzeugt, diese hochtransformiert, gleichrichtet und als Kapselvorspannung benutzt.

Abb. 22 zeigt die Schaltung eines Nf-FET-Kondensator-Mikrofons, dessen Selbstbau Josef Schachner und Georg Reiter in der FUNKSCHAU 1968, Heft 3, beschrieben. Links oben erkennt man die Generatorspule für die Vorspannungs-Erzeugung. Sie ist mit einem Siemens-Schalenkern B 65 541, AL 1500, 1100 N 22 gewikkelt, und zwar mit 0,14-mm-CuL-Draht. Eine Batterie aus vier Deac-Knopfzellen 50 DK ist fest in das Gehäuse eingebaut und kann auch zum Wiederaufladen darin verbleiben. Der Betriebsstrom fließt erst beim Anstecken des Verbindungskabels, an dessen Steckvorrichtung die Punkte 1–2 überbrückt sind. Verlegt man diese Verbindung an das verstärkerseitige Kabelende oder in den Verstärker selbst, dann ist sogar Fernschaltung möglich.



24 Innenschaltung des MKE 401

Noch problemloser wird die Stromversorgung von Kondensator-Mikrofonen, wenn man als Membran eine Elektretfolie verwendet. Diese besteht aus einer Mischung von Wachs mit bestimmten Harzen oder aus Erzeugnissen der Kunststoffchemie. Das Material wird erwärmt, und zwar in einem elektrostatischen Feld, und dann langsam abgekühlt. Dabei nimmt es eine elektrische Ladung an, man braucht also keine Kapselvorspannung mehr, und es genügt eine (z. B.) 6-V-Batterie zur Stromversorgung. Ein solches Elektret-Mikrofon ist der Typ MKE 401 von Sennheiser, eine sogen. „Superniere" *(Abb. 23)*.

Abb. 24 zeigt die Innenschaltung. Die Kapsel liegt ohne Vorspannung an der integrierten Schaltung HICP 261. Die eingebaute Mallory-Batterie hält 600 Betriebsstunden vor, das entspricht bei täglich einstündigem Betrieb einer Lebensdauer von rund zwei Jahren. Eine raffinierte Batteriekontrolle bildet die Gallium-Arsenid-Diode D 1. Beim „Überfahren" des eingebauten Schalters von *Ein* nach *Aus* passiert sein Schiebe-Kontaktsatz die Stellung „b" und läßt die Diode aufblitzen, solange die Batterie noch betriebsbereit ist.

7.4 Kunstkopf-Mikrofone — kopfbezogene Stereofonie

Die Kunstkopf-Stereofonie ist jahrzehntealt. Daß sie heute wieder in aller Munde ist, mag damit zusammenhängen, daß der Aufwand für die Quadrofonie doch recht beträchtlich ist. Damals sagten sich gescheite Leute: Mit unseren zwei Ohren hören wir nicht nur, was vorne rechts und links passiert, wir unterscheiden auch vorn und hinten sowie oben und unten, ... und das alles zweikanalig. In den fünfziger Jahren stellte man entsprechende Versuche mit einem „Behelfs"-Kunstkopf an, nämlich mit einer Kegelkugel, die den menschlichen Kopf darstellen sollte und in die dort Mikrofone eingebaut waren, wo beim Menschenkopf die Ohren wären. Irgendwie schienen diese ersten KK-Versuche nicht so recht befriedigt zu haben.

25a Der professionelle Neumann-Kunstkopf

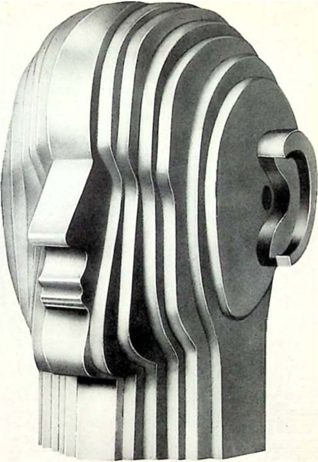
25b Innenansicht des Neumann-Kunstkopfes

Erst in neuerer Zeit wurden diese Versuche wiederholt, aber nicht mehr mit einer „Kegelkugel", sondern mit einem getreu nachgebildeten menschlichen Kopf. Als Material dient „Kunstfleisch", ein Kunststoff, der sich anfühlt wie Fleisch. Die Ohren hat man durch Abgüsse echter Ohren nachgebildet und die Mikrofone so eingebaut, daß die Membranen genau dort sitzen, wo der Mensch seine Trommelfelle hat. Einen solchen Kunstkopf entwickelte die Berliner Firma Georg Neumann, die wegen ihrer professionellen Mikrofone und wegen ihrer Schallplatten-Aufnahmemaschinen in der ganzen Welt bekannt ist *(Abb. 25)*. Nun, ein solcher KK kostet rund 5000 DM. er ist für den Amateur unerschwinglich.

KK-Stereofonie ist zur Zeit noch nur mit Stereo-Kopfhörern abzuhören. Man munkelt jedoch, daß die Wissenschaftler bereits Schaltungen entwickeln, die auch Wiedergabe über vier Lautsprecher versprechen. Jedenfalls haben die KK-Hörspiele. die verschiedene Sender ausstrahlten, und die KK-Schallplatten eines bekannten Mikrofon-Herstellers so großes Interesse gefunden, daß auch Amateure entsprechende Versuche anstreben. Solche KK-Mikrofone gibt es jetzt, und sie kosten etwa 1/10 dessen, was man für den professionellen Kunstkopf ausgeben muß. Wir sollten uns noch auf eine Erkenntnis einigen: KK-Mikrofone sind nicht ein neues Mikrofon-Prinzip, sondern eine Mikrofon-*Anordnung*. Im Prinzip könnte man jede Mikrofonart in einen KK einbauen.

Der professionelle Kunstkopf von Georg Neumann ist mit zwei Studio-Kondensator-Mikrofonen bestückt. Die AKG hat ihren Kunstkopf stilisiert, er besteht aus Hartschaum und enthält zwei dynamische Kapseln *(Abb. 26)*. Man ist überrascht, daß auch diese stark vereinfachte Nachbildung eines Kopfes tadellose Ortung erlaubt.

Recht originell ist die von Sennheiser electronic erarbeitete Problemlösung: Versuche haben ergeben, daß die beiden Mikrofonmembranen nicht haargenau dort in der Kopfnachbildung sitzen müssen, wo sich beim Menschen das Trommelfell befindet. Es gibt eine Stelle am Außenohr, an der nahezu die gleichen akustischen



26 Der stilisierte AKG-Kunstkopf

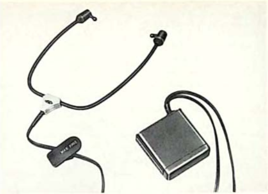
Verhältnisse herrschen wie unmittelbar am Trommelfell. „Folglich", sagte man sich beim Hersteller, „kann man zwei Elektret-Kondensator-Mikrofone an einem Bügel befestigen, den man in die Ohren eines Menschen hängt" *(Abb. 27)*. Für den Amateur hat das den Vorteil, daß es seiner Umwelt kaum auffällt, wenn er etwa auf der Straße, im Konzertsaal, im Beatschuppen oder auf dem Bahnsteig Außenaufnahmen macht. Trotzdem liefert der Hersteller zusätzlich einen „leeren" KK, also ein Gebilde ohne Mikrofone, in das man den Mikrofonbügel einhängen kann *(Abb. 28)*.

Wer ein Stereo-Tonbandgerät besitzt, sollte sich einen Amateur-KK anschaffen. Ihm werden Aufnahmen von erregender, bisher nicht gehörter Natürlichkeit gelingen, und er wird es nicht bereuen, daß er zum Abhören nur mit dem Kopfhörer in den vollen Genuß seiner Bemühungen kommen kann, daß er also vorerst noch auf Lautsprecherwiedergabe verzichten muß.

7.5 Umschaltbare Hörkennlinien

Kondensator-Mikrofone lassen sich mit verschiedenen Hörkennlinien bauen (Abschnitt 3.3). Bei der Normalausführung mit kreisförmiger Kennlinie enthält die Kapsel *eine* Membran und eine Gegenelektrode. Bei der Nierenkapsel ist die Gegenelektrode zwischen *zwei* Membranen angeordnet. In der Achterkapsel befindet sich eine perforierte Gegenelektrode zwischen zwei Membranen, so daß das Mikrofon auch von der Rückseite besprochen werden kann.

Im Studio braucht man oft verschiedene Kennlinien, um bestimmte Effekte zu erzielen. Deshalb baute man schon frühzeitig Kondensator-Mikrofone, deren Kapseln je nach gewünschter Kennlinie austauschbar waren. Solche Mikrofone sind auch heute noch sehr beliebt. Insbesondere im Studiobetrieb ist es natürlich weitaus bequemer, wenn man die jeweils gewünschte Kennlinie durch einfaches Betätigen eines Schalters einstellen kann. Dieser Schalter sitzt häufig am Mikrofon, es gibt aber auch Ausführungen mit Fernumschal-



27 Der Kunstkopf-Mikrofonbügel mit dem Vorverstärker (Sennheiser)

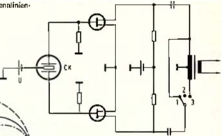
28 Der Sennheiser-Kunstkopf, in den sich der Mikrofonbügel einhängen läßt

tung, bei denen der Toningenieur etwa während eines Hörspiels vom Regietisch aus umschalten kann.

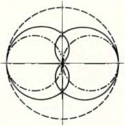
Zur Erklärung des Umschalt-Prinzips zeigt *Abb. 29* die Spezialkapsel CK mit zwei Membranen, zwischen denen die an die Spannung U angeschlossene Gegenelektrode liegt. Wenn man die eine Membran unbenutzt läßt (Schalterstellung 2), hat man die Nierenkennlinie eingestellt. Sobald man beide Membranen parallel schaltet (Schalterstellung 1), „hört" das Mikrofon nach beiden Seiten. Zeichnerisch dargestellt *(Abb. 30)* erkennt man, daß sich die beiden Nierenkennlinien (ausgezogen) zu einem Kreis (gestrichelt) ergänzen. Führt man dagegen die Tonspannung der unteren Stufe dem Übertrager Tr gegenphasig zu (Schalterstellung 3), dann löschen sich die Teile der beiden Nierenkennlinien, die sich überdecken, so aus, daß die strichpunktierte Achter-Kennlinie entsteht.

Der Übertrager und eine Stufe lassen sich einsparen, wenn man zwei Vorspannungsquellen mit umgekehrter Polung nach *Abb. 31* vorsieht. Ein so aufgebautes Mikrofon ist so vielseitig wie nur denkbar. Es erleichtert Techniker und Tonmeister die Arbeit gleichermaßen.

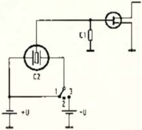
In *Abb. 32* ist das Umschalt-Mikrofon C 414 der AKG zu sehen. Es läßt sich umschalten auf die Kennlinien Niere, Kreis, Acht und Superniere. Die Innenschaltung ist in *Abb. 33* wiedergegeben. Die Stromversorgung erfolgt in Phantomspeisung. Minus wird über Klemme 6 (Masse) zugeführt, Plus kommt über beide Tonadern und steht am Mittelabgriff des Leitungsübertragers Ü 2 zur Verfügung. Links im Schaltbild ist der Spannungswandler zu erkennen, bei dem der Übertrager Ü 1 in Rückkopplungsschaltung die Kapselvorspannung erzeugt, die die Dioden D 2...D 4 gleichrichten. Parallel zur Kapsel bzw. zur Gegenelektrode befindet sich eine mit S 2 zuschaltbare Kapazität C 1, die eine Vordämpfung um −10 dB bewirkt. An den Feldeffekt-Transistor T 2 schließt sich die Auskoppelstufe T 3 an, an deren Emitter der Leitungsübertrager Ü 2 liegt.



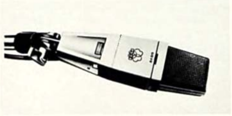
29 Prinzip der Hörkennlinien-Umschaltung



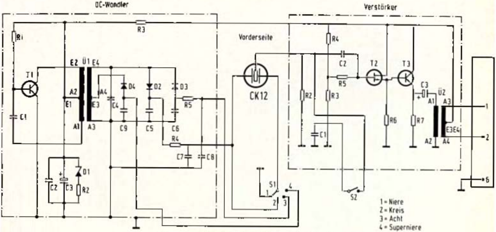
30 Durch Addition und Subtraktion der beiden Nieren-Kennlinien entsteht ein Kreis oder eine Acht



31 Durch zwei verschieden gepolte Vorspannungsquellen läßt sich die Umschaltung stark vereinfachen



32 AKG-Kondensator-Mikrofon C 414 mit umschaltbaren Hörkennlinien



33 Innenschaltung des Kondensator-Mikrofons C 414 von AKG

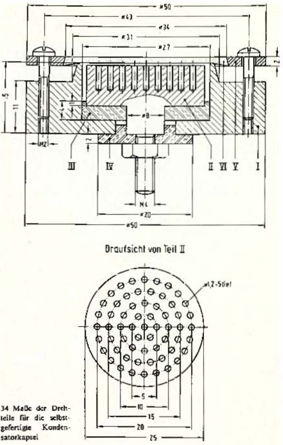
7.6 Selbstgebaute Kondensatorkapsel

Wer an sorgfältiges Arbeiten an der Drehbank gewöhnt ist, kann sich eine Nf-Kondensatorkapsel selbst bauen.

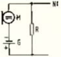
Nach der Werkzeichnung von *Abb. 34* baute sich der Verfasser eine Kapsel, die seit vielen Jahren ganz ausgezeichnet funktioniert. Dieses Qualitätsurteil gilt allerdings mit dem gleichen Vorbehalt, den schon der Anfang von Abschnitt 6.4 anführt. Es ist nämlich sehr schwer, genaue Angaben über die Membranfolie zu machen oder gar eine zuverlässige Bezugsquelle zu nennen. Als besonders geeignet erwies sich eine Kunststoffolie von 0,01 mm Stärke, die auf der Oberfläche (Außenseite) mit einer Goldauflage versehen war. Dieses Material stellte vor vielen Jahren eine kleine Firma in Sachsen her, die aber inzwischen erlosch. Zahlreiche Praktiker berichteten inzwischen dem Verfasser, daß sie mit 0,01-mm-Folie aus Hartaluminium oder Messing (erhältlich in Metallwaren-Handlungen, siehe Branchenverzeichnis im Telefonbuch) genausogut zurechtkamen. Ferner wurde empfohlen, zum sicheren Schutz gegen Oxydation etwa verwendete Messingfolie vergolden zu lassen. Ein anderer Praktiker behalf sich noch eleganter: er belegte eine Plastikfolie außen mit echtem Blattgold, das er beim Buchbinder erstand.

Körper I und Gegenelektrode II bestehen aus Messing und sind gegeneinander durch zwei Buchsen III und IV aus Hartgummi oder Bernstein isoliert. Der Ring V, auf den später die Membran VI aufgeleimt wird, besteht aus Hartpapier. Er wird trommelfellartig von sechs bis zwölf Schrauben gehalten. Sehr gut hat sich das Zwischenlegen von Schraubenfedern (fälschlich oft „Spiralfedern" genannt) zwischen Schraubenkopf und Ring bewährt. Dadurch wird bei Temperaturschwankungen die Membran automatisch nachgespannt. Beim Anbringen der Bohrungen, die in der Gegenelektrode (unten in Abb. 34) das sogenannte Luftpolster darstellen, ist peinlich auf saubere Entgratung zu achten.

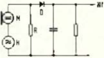
Die eigentliche Schwierigkeit beim endgültigen Zusammenbau besteht darin, im Interesse hoher Empfindlichkeit den Abstand zwi-



34 Maße der Drehteile für die selbstgefertigte Kondensatorkapsel



36 Prinzip des Niederfrequenz-Kondensator-Mikrofons



37 Prinzip einer einfachen Hochfrequenz-Schaltung

35 Das Äußere des selbstgebauten Kondensator-Mikrofons wirkt fast industriemäßig

38 Hf-Kondensator-Mikrofon MKH 435 von Sennheiser

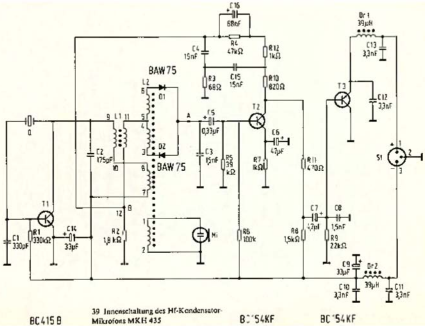
schen Membran und Gegenelektrode gleichmäßig auf $^{2}/_{100}$ mm einzustellen. Hierzu verstiftet man alle Teile, damit sie sich nicht mehr verdrehen können, und überdreht mit einem ganz feinen Stahl nochmals Gegenelektrode und Auflagerand der Membran. *Ohne* den Support zu verstellen, wird anschließend die Gegenelektrode nochmals *allein* überdreht. Legt man jetzt ein Haarlineal über den Rand, so muß man gerade noch zwischen dessen Kante und Gegenelektrode durchsehen können. Je gewissenhafter diese Arbeit ausgeführt wird, um so empfindlicher fällt das Mikrofon aus.

Als Verkleidung und Abschirmung für diese Kapsel eignet sich recht gut ein Auto-Schlußlicht, dessen farbige Scheibe durch ein Stück Drahtgaze ersetzt wird *(Abb. 35)*.

7.7 Hf-Kondensator-Mikrofone

Als den Elektroakustikern die ersten Transistoren zugänglich wurden, dachten sie natürlich sofort daran, wie schön es wäre, in Kondensator-Mikrofonen die Röhre(n) durch einen oder mehrere Transistoren zu ersetzen. Dem stand leider eine ärgerliche physikalische Tatsache im Weg: Nach Abschnitt 7.1 verlangt die Nf-Schaltung einen sehr hochohmigen Verstärkereingang von über 100 MΩ. Die damals verfügbaren Germanium- und die späteren Silizium-Transistoren konnten das nicht bieten, sie waren zu niederohmig, und FETs gab es noch nicht. So entsann man sich eines zwar schon bekannten, aber kaum mehr angewandten Prinzips, nämlich des Hf-Kondensator-Mikrofons. Inzwischen hat man es gelernt, hochwertige Studio-Mikrofone mit Hf-Schaltung zu bauen. Zum besseren Verstehen der Arbeitsweise seien hier die Arbeitsprinzipien von Nf- und Hf-Mikrofonen herausgestellt.

Bei der Nf-Schaltung *(Abb. 36)* liegt die Mikrofonkapsel M in Reihe mit dem Widerstand R und der Gleichspannungsquelle G. Weil die Ladung am Mikrofon auch für die tiefsten Frequenzen konstant bleiben muß, ist die Wechselspannung am Gatter der ersten Stufe der relativen Kapazitätsänderung proportional. Bei einer Kap-



39 Innenschaltung des Hf-Kondensator-Mikrofons MKH 435

sel mit einem kapazitiven Innenwiderstand von 50 pF muß R möglichst 100 MΩ oder mehr aufweisen.

Günstigere Werte ergeben sich bei der Hf-Schaltung nach dem Prinzip von *Abb. 37*. An die Stelle der Gleichspannungsquelle G tritt ein Hf-Generator H, mit dem die Kapsel M als Schwingkreiskondensator in Reihe oder parallel liegt. Sie verändert die Hochfrequenz in der Schwingungszahl und macht aus H einen FM-Sender. Übertrieben vereinfacht dargestellt, verwandelt D die FM in Niederfrequenz. In Wirklichkeit ist jedoch D ein Diskriminator.

Wegen der bescheidenen Kreisgüten der in der Regel im KW- oder UKW-Bereich schwingenden Hf-Oszillatoren treten die in Nf-Schaltungen ungemein wichtigen Isolationsfragen in den Hintergrund. Um einen 100-MΩ-Basiswiderstand in einem Nf-Mikrofon „nebenschlußfrei" zu isolieren, bedarf es eines Isoliermaterials, das zwischen den Befestigungspunkten mindestens 2 Größenordnungen hochohmiger ist. In Hf-Kreisen und bei den in Frage kommenden Frequenzen sind diese Ansprüche wesentlich bescheidener. Das mag ein Grund sein, daß viele Techniker das Hf-Mikrofon, das eigentlich einen technischen „Umweg" darstellt, als besonders zuverlässig ansehen.

Ein solches Hf-Kondensator-Mikrofon ist das Modell MKH 435 von Sennheiser *(Abb. 38)*. Seine Innenschaltung ist in *Abb. 39* wiedergegeben. Links in der Abb. erkennt man den quarzstabilisierten Hf-Oszillator mit dem Transistor T 1. Dieser wird über den Spulensatz L 2 mit dem Mikrofon Mi frequenzmoduliert. Die Dioden D 1 und D 2 arbeiten als Ratiodetektor und versorgen über C 5 den Transistor T 2 mit Tonspannung. Die Stufe T 3 bewirkt die niederohmige Auskopplung als Emitterfolger. Die Drosseln Dr 1 und Dr 2 halten Hf-Reste von der Tonleitung ab.

8 Kristall- und keramische Mikrofone

8.1 Klangzellen- und Membran-Mikrofone

Kristall-Mikrofone und ihre keramischen „Brüder" arbeiten beide nach dem piezoelektrischen Prinzip, und weil sie sich äußerlich und auch im elektrischen Verhalten gleichen, macht sich der Praktiker häufig gar keine Gedanken über ihre unterschiedlichen Eigenschaften. Diese sollte man aber genau kennen, auch wenn in Katalogen gelegentlich die keramischen Ausführungen unbekümmert unter der Rubrik „Kristall-Mikrofone" angeführt werden. Kristallsysteme sind hitze- und feuchtigkeitsempfindlich, man sollte sie tunlichst nicht unter extremen Bedingungen (Nahbesprechung = Feuchtigkeitsgefahr; Dauerbetrieb bei praller Sonne = Temperaturgefährdung) betreiben. Keramische Systeme sind dagegen feuchtigkeitsunempfindlich und vertragen Umgebungstemperaturen bis in die Gegend von 80 °C. Die Entwicklung ist heute so weit vorangekommen, daß man die piezoelektrischen Ausführungen als preiswerte Qualitäts-Mikrofone bezeichnen darf.

Wie schon kurz erwähnt, wird das Kristallsystem *direkt* oder durch eine *aufgekittete* Membran beschallt. Man unterscheidet demnach zwischen *Klangzellen-* und *Membran-Mikrofonen*. Klangzellen-Mikrofone sind zwar weniger empfindlich, aber sie haben eine Frequenzkurve, die nahezu geradlinig verläuft. Je nach Fabrikat haben sie eine Empfindlichkeit von ungefähr 0,4 mV/μbar. Mitunter werden mehrere Klangzellen parallel und mehrere Parallelgruppen in Serie geschaltet, um die Empfindlichkeit und die Eigenkapazität zu erhöhen. Das letzte ist wichtig, um die Leitungsdämpfung (Abschnitt 3.6) gering zu halten. Die typische Ausführung eines solchen Qualitäts-Mikrofons zeigt *Abb. 40*.

Die Membranausführung erlaubt es, die Empfindlichkeit auf Kosten der Frequenzkurve zu erhöhen. Daher werden Membran-Mikrofone vornehmlich dort angewendet, wo hohe Empfindlichkeit verlangt wird und *gute*, aber nicht bestmögliche Übertragungsqualität eine Rolle spielt. Überall, wo Sprachübertragungen gemacht werden (Werbetexte, Rufanlagen, Diktiermaschinen, Amateursender usw.), ist daher das Membran-Mikrofon am Platz. Die Empfindlichkeit solcher Mikrofone erreicht bei manchen Ausführungen 1 bis 2 mV/μbar.

Die Abweichungen von der geraden Ideal-Frequenzkurve rühren von Resonanzstellen der Membran her. Durch mechanische Dämpfung können sie klein gehalten werden. Das ist auch der Grund, weshalb viele Membran-Mikrofone ausgezeichnete Musikübertragungen erlauben. Es wäre also falsch, die Membran-Mikrofone in Bausch und Bogen als „Nur-Sprach-Mikrofone" anzusprechen. Es kommt immer auf das jeweilige Baumuster an. Ein Blick auf die mitgelieferte Frequenzkurve zeigt dem Praktiker, was er von dem angebotenen Mikrofon verlangen kann. Dabei bleibt allerdings zu bedenken, daß jedes Wegdämpfen von Resonanzlagen auch die Empfindlichkeit im übrigen Übertragungsbereich beeinflußt. Es ist also im Zweifelsfalle zu überlegen, ob der Empfindlichkeitsgewinn gegenüber Klangzellen im günstigen Verhältnis zum Preis und zum Frequenzverlauf steht. Tatsächlich gelingt es, für Sonderzwecke Membran-Mikrofone zu bauen, bei denen Empfindlichkeit und Klanggüte in einem außerordentlich günstigen Verhältnis zum Preis stehen. Die Auswahl, die der Markt bietet, ist ungemein reichhaltig. Der Vollständigkeit halber sei angeführt, daß auch Spezialtypen für Sprachübertragung (bei Diktiergeräten, in Rufanlagen und für Amateursender) gebaut werden, bei denen man absichtlich durch geeignete Konstruktion die Tiefenwiedergabe dämpft, um die Silbenverständlichkeit zu erhöhen. Der gleiche Effekt läßt sich bei normalen breitbandigen Ausführungen durch Parallelschalten eines Widerstandes von vielleicht 100 kΩ erzielen, weil dieser den kapazitiven (= frequenzabhängigen) Widerstand bei den Tiefen belastet.

8.2 Schaltungstechnik bei Kristall-Mikrofonen

Wie alle hochwertigen Mikrofone verlangt das Kristall-Mikrofon eine ausreichende Vorverstärkung. Da sein Innenwiderstand (Abschnitt 3.6) hochohmig ist, neigen die Mikrofonleitung und die erste Verstärkerstufe zur Aufnahme von Störungen, wenn man nicht besondere Vorkehrungen trifft. Im Abschnitt 3.5 wurde bereits auf einige wichtige Punkte hingewiesen. Außerdem ist es sehr zu empfehlen, die erste Verstärkerstufe völlig abzuschirmen. Die Nullverbindungen, besonders am Mikrofoneingang und in den ersten beiden Verstärkerstufen, sollen isoliert an einen Zentralerdungspunkt geführt werden. Das abgeschirmte Mikrofonkabel soll über der Panzerung noch eine Isolierschicht tragen, damit die Abschirmung nicht mit einer „Fremderde" (Dampfheizung, Wasserleitung usw.) in zufällige Berührung kommen kann. Sehr gut hat es sich bewährt, das Mikrofongehäuse aus dem gleichen Grund vom Stativ zu isolieren. Der Gatterwiderstand der ersten Verstärkerstufe soll nicht kleiner als 1 MΩ sein, weil sonst eine Beschneidung der Tiefen eintritt. Soll eine solche gelegentlich *absichtlich* erzielt werden, wird der Gatterwiderstand veränderlich gemacht, er dient dann als Klangeinsteller. Bei reinen Sprachübertragungen (Rufanlagen, Amateursender) kann hierdurch die Wiedergabe aufgehellt und besser verständlich gemacht werden. Manche Kristall-Mikrofone zeigen bei Nahbesprechung ein häßliches Hervortreten der Zischlaute („Anzischen"); es rührt von einer Resonanzstelle bei etwa 5000...8000 Hz her. Bei größeren Besprechungsabständen (1...2 m) ist dieses Hervortreten der Höhen sogar angenehm. Dann hört man wegen des größeren Abstandes kein „Zischen" mehr, sondern die Wiedergabe erscheint brillanter. Um bei beiden Betriebsarten beste Klangverhältnisse zu sichern, empfiehlt sich der Einbau eines ganz einfachen „Vorentzerrers für Nahbesprechung". Das ist ein abschaltbarer Kondensator, den man parallel zum Arbeitswiderstand der Vorstufe legt und bei Nahbesprechung einschaltet. Seine Kapazität richtet sich nach

dem benutzten Mikrofon und dem persönlichen Geschmack, sie ist durch Versuch zu ermitteln.

8.3 Körperschall-Mikrofone mit Kristallsystem

Die Unabhängigkeit von Speisespannungen, der günstige Preis und nicht zuletzt die kleinen Abmessungen haben dazu geführt, daß für zahlreiche Sonderzwecke Kristall-Mikrofone als Körperschallabtaster ausgebildet wurden. Bei diesen ist ein „Fühlstift" mit dem Kristall verbunden. Der Stift berührt den Körper, dessen Schwingungen er hörbar machen soll. Manchmal genügt es sogar, daß eine Klangzelle einfach mechanisch mit dem schwingenden Körper verbunden wird.

Solche Körperschall-Mikrofone erfreuen sich zur Zeit bei den ausübenden Musikern großer Beliebtheit. Musikinstrumente, die von Haus aus ein beschränktes Tonvolumen haben, können mit solchen Spezial-Mikrofonen ausgerüstet werden, und über eine Verstärkeranlage übertönen sie dann unter Umständen selbst ein großes Orchester. Es wäre falsch, solche Anlagen einfach als „Radaumaschinen" anzusehen. Richtig angewendet eröffnen sie ganz neuartige künstlerische Möglichkeiten.

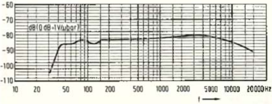
An einer geeigneten Stelle des Resonanzkörpers, die durch Versuche genau ermittelt werden muß, bringt man diese Mikrofone an. Die kleinen Abmessungen lassen viele Möglichkeiten zu, so daß der nachträgliche Einbau in Violinen, Celli, Klaviere, Gitarren, Zithern und Streichbässe mühelos möglich ist.

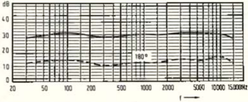
Darüber hinaus gibt es noch Sonderausführungen der verschiedensten Art. Uhrenschlag-Mikrofone, Herzschall-Mikrofone, Mikrofone zum Auffinden von Holzwürmern, Gong- und Glockenschlag-Mikrofone erschöpfen die Möglichkeiten noch lange nicht.

40 So etwa sieht ein keramisches oder Kristall-Mikrofon aus

Rechts: 41 Bändchen-Mikrofon M 260 (Beyer)

Unten: 42 Frequenzkurve des Bändchen-Mikrofons M 260





43 Frequenzkennlinie des Tauchspul-Zweiweg-Mikrofons D 202 CS von AKG

9 Dynamische Mikrofone

9.1 Bändchen-Mikrofone

Das entwicklungsmäßig älteste dynamische Mikrofon war eine Bändchen-Ausführung. Mancher alte Mikrofon-Praktiker denkt heute noch mit leiser Wehmut an das vorzügliche und robuste „Bändchen" zurück, wobei sich der Ausdruck „robust" auf die gedrungene Bauweise des *ganzen* Mikrofons bezieht. Das eigentliche Bändchen war nämlich mimosenhaft empfindlich, wenn es kräftig angeblasen wurde. Mancher ahnungslose Anfänger hat diesen feinen, gewellten Streifen aus hauchdünner Aluminiumfolie regelrecht „abgeblasen". Dieser Streifen, oder sagen wir besser dieses Bändchen, ist zwischen den Polschuhen eines Satzes kräftiger Hufeisenmagnete angeordnet. Sein Widerstand liegt in der Größenordnung von 0,1 Ω, er wird mit einem in das Mikrofon eingebauten Übertrager zunächst auf einen Leitungswiderstand von 200 Ω hinauftransformiert. Ein weiterer Aufwärtsübertrager ist vor der ersten Verstärkerstufe vorgesehen. Natürlich stellen diese beiden Übertrager einen Qualitäts-Engpaß dar, und außerdem verteuern sie die Anwendung. Das ist wahrscheinlich der Grund, daß heute nur wenige Bändchen-Mikrofone gebaut werden. Die Hörkennlinie ist meistens kreisförmig, und die abgegebene Tonspannung beträgt an der 200-Ω-Leitung etwa 1 mV/μbar.

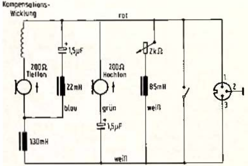
Eine moderne Ausführung mit Nieren-Kennlinie zeigt *Abb. 41*. Die Frequenzkennlinie *(Abb. 42)* verläuft praktisch flach zwischen 50 und 18 000 Hz.

9.2 Tauchspul-Mikrofone

Bei den Tauchspul-Mikrofonen ist an einer Membran aus Metallfolie oder Spezialpapier eine Spule angeordnet, die in den Luftspalt eines Ringmagneten taucht. Das Tauchspul-Mikrofon erinnert daher im Prinzip an einen dynamischen Lautsprecher. So wie man diesen als Mikrofon betreiben kann, ist es möglich, ein Tauchspul-Mikrofon als Lautsprecher zu verwenden. Das Ergebnis wird freilich in beiden Fällen nicht zufriedenstellen, weil das schwingende System aus Qualitätsgründen nur für *einen* Verwendungszweck optimal ausgeführt werden kann. Beim Mikrofon fällt die Eigenresonanz von Tauchspule und Membran mitten in den zu übertragenden Tonbereich hinein. Bei den neuzeitlichen Ausführungen ebnet man die Frequenzkurve dadurch ein, daß durch Luftpolster und Resonanzräume im Mikrofongehäuse der zu stark wiedergegebene Tonbereich gedämpft, der vernachlässigte dagegen angehoben wird. So kommt man zu Frequenzkurven nach *Abb. 43*, die so vollkommen sind, daß sie den Forderungen entsprechen, die der Deutsche Rundfunk an Studio-Mikrofone stellt. Die gezeigte Kennlinie gehört zu dem AKG-Mikrofon D 202 CS, dessen Ansicht *Abb. 44* wiedergibt. Dieses Nieren-Richtmikrofon enthält einen einstellbaren Tiefenabschwächer für 0...20 dB bei 50 Hz, der bei Nahbesprechung beste Wortverständlichkeit sichert. Die beiden Systeme sind verantwortlich für den breiten und ausgeglichenen Frequenzverlauf (*Abb. 45*). Neben solchen hochwertigen Studio-Ausführungen gibt es viele preiswerte Typen für Tonbandgeräte und Ela-Anlagen. Eine Spezialkonstruktion für sehr rauhe Betriebsbedingungen zeigt *Abb. 46* im Schnitt. Dieses Mikrofon eignet sich z. B. für Rufanlagen in metallverarbeitenden Betrieben. Feinster Eisenstaub, den der Magnet anzieht, kann sich nicht auf der Membran ansetzen und Klirren verursachen. Das verhindert ein spezieller Abfangtrichter.

Das Hand-Mikrofon VE 1045 von Philips *(Abb. 47)*, das ebenfalls nach dem Tauchspul-Prinzip arbeitet, ist ein Kompensations-Mikrofon. Es spricht nur auf *einseitig* auftreffenden Schall und

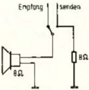
44 Zweiweg-Tauchspul-Mikrofon D 202 CS von AKG



45 Innenschaltung des Zweiweg-Mikrofons D 202 CS

46 Schnitt durch ein Tauchspul-Mikrofon für besonders rauhe Betriebsbedingungen (Peiker)

47 Tauchspulen-Mikrofon für Nahbesprechung (Philips)



48 Kleinstlautsprecher im Handfunkgerät

49 Magnetisches Mikrofon MM 21 von Sennheiser

damit nur auf solchen aus unmittelbarer Nähe an und ist für Geräusche, die aus mehr als 20...50 cm Entfernung einfallen, unempfindlich. Dadurch neigt dieses Mikrofon auch nicht zu akustischer Rückkopplung und eignet sich zum Beispiel hervorragend für den Betrieb im Lautsprecherwagen, in Industrie-Anlagen und, weil es weitgehend feuchtigkeitsgeschützt ist, auch für die Anwendung beim Wassersport und auf Schiffen.

9.3 Mikrofonlautsprecher für Wechselsprech-Anlagen und Diktiergeräte

Ein Tauchspulsystem läßt sich wahlweise als Lautsprecher oder als Mikrofon betreiben. Beste Ergebnisse sind natürlich jeweils nur zu erwarten, wenn das System für den gewünschten Verwendungszweck entwickelt wurde. Ein dynamischer Lautsprecher, den man als Mikrofon betreibt, klingt deshalb nicht so einwandfrei wie ein regelrechtes Tauchspul-Mikrofon, und umgekehrt wird ein solches nicht gerade Konzertqualität vermitteln, wenn man es als Lautsprecher anschließt. Immerhin, bei zurückgeschraubten Ansprüchen gelangt man doch zu recht befriedigenden Ergebnissen. Dieser Möglichkeit bedient man sich heute mehr und mehr, z. B. in Büro-Sprechanlagen, bei Diktiergeräten, im Amateurfunk und sogar in der Reportage-Praxis der Rundfunksender. Der Reporter hält ein dynamisches Mikrofon in der Hand, und wenn ihm der Techniker im Übertragungswagen irgendwelche Regieanweisungen geben muß, schaltet er das Reportermikrofon auf „Rücksprechen“, das heißt, er betreibt es als Kleinstlautsprecher, über den er seine Durchsagen macht.

Für diesen „Zwitterbetrieb“ eignen sich recht gut Kleinstlautsprecher mit 6 cm Durchmesser, insbesondere wenn man ihre Tiefenwiedergabe dadurch dämpft, daß man die rückseitigen Korböffnungen mit Klebestreifen verschließt. Umgekehrt sind jene Mikrofone recht gut als Lautsprecher zu verwenden, die von Haus aus mit gedämpften Tiefen arbeiten, also Sprachmikrofone für Diktiergeräte.

Die in Handfunkgeräten gleichzeitig als Mikrofon mitbenützten Kleinstlautsprecher klingen beim Senden häufig unnatürlich dunkel (im Funkerjargon „bumsig"), was die Verständlichkeit erheblich beeinflußt. Eingehende Untersuchungen des Verfassers fanden die Ursache hierfür: Die Eigenresonanz solcher Systeme liegt bei etwa 300 Hz. Da sie bei Mikrofonbetrieb praktisch im Leerlauf arbeiten ($R_i \cong 8 \Omega$, $R_E = 2 k\Omega$), geben sie bei der Resonanzfrequenz f_R sehr viel mehr Spannung ab, als es dem Klang der Stimme entspricht. Einfachste Abhilfe: Man belaste in Stellung „Senden" den Kleinstlautsprecher nach *Abb. 48* mit einem Widerstand (stark gezeichnet), der etwa dem Lautsprecherwiderstand entspricht (nachmessen!). Er ebnet den Frequenzverlauf im gewünschten Sinne ein.

Funkamateure verwenden übrigens seit einiger Zeit mit bestem Erfolg dynamische Telefon-Hörkapseln als Mikrofone, weil diese schon aufgrund ihrer Bauart den für beste Sprachverständlichkeit wichtigen Bereich zwischen 300 und 3000 Hz bevorzugen. Der Verfasser erzielte z. B. tadellose Ergebnisse mit der dynamischen Fernsprech-Hörkapsel der SEL, die er in der Amateurstation gelegentlich auch als Kleinstlautsprecher mit 50 mW Höchstbelastbarkeit betrieb.

10 Magnetische Mikrofone

10.1 Magnetisches Kleinmikrofon für Transistor-Hörgeräte

Transistorverstärker moderner Hörgeräte haben einen Eingangswiderstand in der Größenordnung von 2 kΩ; sie sind also für Kristall-Mikrofone zu niederohmig. Gut geeignet sind dagegen magnetische Ausführungen, die sich leicht mit 2 kΩ Innenwiderstand herstellen lassen, die klein und preiswert sind und deren Frequenzgang mühelos den besonderen Erfordernissen für Schwerhörigengeräte (angehobene Höhen) angepaßt werden kann. *Abb. 49* zeigt das Modell MM 21 von Sennheiser electronic, das den Bereich 400 bis 4000 Hz erfaßt, 0,4 mV/μbar liefert und nur ca. 19 mm x 12,6 mm x 6,8 mm groß ist. *Abb. 50* zeigt seine Frequenzkennlinie.

10.2 Kopfhörer als Mikrofon

Gelegentlich, und wenn überhaupt nichts Besseres zur Hand ist, benutzt man eine Kopfhörermuschel als Mikrofon. Die Eigenresonanzen der üblichen magnetischen Modelle machen die Übertragung nicht zum Vergnügen. Zur Not kann man sich helfen, wenn man die Membran durch eine straff gespannte Gummihaut ersetzt und genau in der Mitte, vor den Polschuhen, ein Stück feinste Eisenfolie von vielleicht 12 mm x 12 mm aufklebt. Trotzdem bleibt das ein zwar billiger, aber schlechter Behelf. Gegen eine dynamische Post-Hörkapsel ist dagegen nichts einzuwenden, ihre Übertragungsgüte befriedigt bei Sprache in hohem Maß.

10.3 Magnetische Gitarren-Mikrofone

Die heute weitverbreiteten Gitarren-Mikrofone arbeiten nach dem magnetischen Prinzip, und eigentlich ist man in einiger Verlegen-

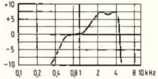
heit, weil man nicht so recht weiß, ob sie wirklich unter die Mikrofone oder besser unter die Tonabnehmer einzuordnen sind. Sie besitzen nämlich keine Membran. Der Verfasser neigt dazu, sie als Mikrofone zu bezeichnen, denn die Saiten des Instrumentes, die über den Polschuhen schwingen und in den Spulen Wechselspannungen erzeugen, arbeiten genauso wie Membranen.

Im Gegensatz zu den Körperschall-Abtastern für Zupfinstrumente übertragen magnetische Gitarren-Mikrofone viel weniger Fremdgeräusche. Zum Beispiel stören das Gleiten der Finger über die Saiten, das Anschlagen des Spielblättchens an die Resonanzdecke oder zufällige Stöße gegen das Instrument kaum. Deshalb setzt sich diese Art von Mikrofonen allgemein in der modernen Tanzkapelle durch. Hinzu kommt, daß sich die Klangfarbe der Wiedergabe weitgehend dadurch verändern läßt, daß man das Mikrofon entweder dicht am Steg (harter Klang) oder am Griffbrett-Ende befestigt (weicher Ton). Deshalb spielen manche Elektrogitarristen Instrumente mit mehreren Mikrofonen, von denen eines am Steg, das zweite 10 cm darüber und das dritte am Ende des Griffbrettes sitzt. Mit einem Umschalter kann man während des Spiels die Mikrofone und die Klangfarben wechseln. Eine weitere Klangbeeinflussung entsteht ferner dadurch, daß man das System nicht genau parallel zur Saitenebene befestigt, sondern es ein wenig dichter an die tiefen oder die hohen Saiten heranrückt. So überwiegen ganz nach Wunsch die Bässe oder der Diskant. Der durchschnittliche Abstand zwischen Saiten und System liegt bei 2...3 mm, der Innenwiderstand bei 2 kΩ und die abgegebene Tonspannung bei leisem Melodiespiel auf einer Saite beträgt ganz ungefähr 5 mV. *Abb. 51* zeigt eine Auswahl von Systemen, wie sie in der Regel zum Anbau an konventionelle („klingende") Instrumente verwendet werden. Dazu gibt es fußbedienbare Lautstärkeregler, die zwischen Instrument und Verstärkereingang zu schalten sind und mit denen man bei einigem Geschick sogar eine Art Amplituden-Vibrato erzeugen kann.

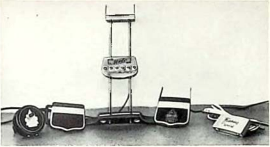
In den letzten Jahren haben sich die Gitarristen fast völlig vom „klingenden" Instrument abgewandt, das heißt, sie verzichten auf

den herkömmlichen Resonanzboden, da sie ja doch ausschließlich über die Verstärkeranlage spielen. An die Stelle des „Korpus" (= Körper des Instrumentes) tritt ein vielleicht 2 cm starkes Sperrholzbrett, das mehrere Mikrofone, einen mechanischen Dämpfer sowie Klangfarben- und Lautstärkeeinsteller trägt.

Musiker, die viel im Ausland gastieren, bevorzugen Allstromverstärker. Dabei treten Schwierigkeiten beim Anschließen des Gitarrekabels auf, und zwar im Hinblick auf die Berührungssicherheit. Die Abschirmung darf dann nämlich nicht mit der Nulleitung des Verstärkers verbunden werden, weil diese Netzspannung führt. In solchen Fällen ist das Zwischenschalten eines Eingangs-Übertragers zu empfehlen. Abschirmung und eine Ader der Mikrofonleitung werden dann über je einen Kondensator von etwa 10 nF mit der Nullung des Verstärkers durchverbunden. Günstiger ist es, auf einen Fußregler zu verzichten, einen Handregler direkt an der Gitarre anzubringen und die Mikrofonleitung zu symmetrieren. Abschirmung des Kabels und Mitte des kapazitiven Spannungsteilers werden über je einen Kondensator von ungefähr 10 nF ebenfalls an den Verstärker-Nullpunkt geführt.



50 Frequenzverlauf des magnetischen Mikrofons MM 21



51 Tonabnehmer und Mikrofone für Saiteninstrumente. Von links nach rechts: Kombination für Zither, bestehend aus rundem Körperschallabtaster für die Begleitung und magnetischem Mikrofon für die Melodiesaiten; Gitarren-Mikrofon mit einzeln verstellbaren Magneten zum Lautstärkeabgleich; zwei normale Gitarren-Mikrofone

52 Transistor-Fernsprechmikrofon Fg mph 95 (unten Innenaufbau; Siemens)

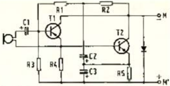
11 Transistor-Mikrofone

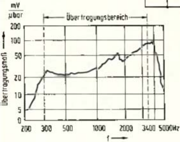
Von allen gebräuchlichen Tonspannungsquellen gibt das Mikrofon (Ausnahme Postkapsel) die niedrigste Spannung ab. Rundfunk-Empfangsteile (= Diodenanschluß), Tonabnehmer und Tonbandgeräte liefern Spannungen um 100 mV, während man sich bei Mikrofonen vor dem Übertrager mit 1 mV, dahinter mit etwa 15 mV begnügen muß. Deshalb ist im Hauptverstärker gewöhnlich ein besonderer Mikrofon-Eingang mit zusätzlichen Vorstufen-Transistoren erforderlich. Das ist irgendwie unbequem, weshalb sich die Konstrukteure schon immer bemühten, entsprechende Vorverstärker unmittelbar in die Mikrofone selbst einzubauen. Wirklich sinnvoll wurde das aber erst, seit man winzige Transistorvorverstärker zu bauen versteht, die, in Miniaturtechnik ausgeführt, in die sowieso vorhandenen Mikrofongehäuse hineinpassen, ohne die Abmessungen merklich zu vergrößern.

11.1 Dynamische und magnetische Transistor-Mikrofone

Zu den interessantesten Typen zählt das dynamische Fernsprech-Mikrofon, das Siemens unter der Bezeichnung Fg mph 95 baut *(Abb. 52)*. Es enthält ein dynamisches System sowie einen Transistor-Vorverstärker nach *Abb. 53* und ist genauso groß wie eine normale Post-Mikrofonkapsel. Demzufolge läßt es sich gegen diese unmittelbar auswechseln, und es vermittelt eine Übertragung, die weitgehend an Rundfunkqualität erinnert *(Abb. 54)*. Dieses Prädikat ist gar nicht so abwegig, denn Funkreporter versicherten dem Verfasser, daß sie bei direkten auf den Sender übertragenen Telefon-Fernreportagen gelegentlich solche Kapseln mitführen und sie kurzerhand in den gerade benutzten Apparat einschrauben. So er-

53 Innenschaltung eines Post-Transistor-Mikrofons. Die Diode am Ausgang schützt die Transistoren bei falscher Polung der Speisespannung





54 Frequenzkurve des Transistor-Postmikrofons Fg mph 95

55 Funksprech-Transistor-Mikrofon M 57 V (Beyer)

klärt es sich, daß manche über Telefon gegebene Rundfunk-Reportage so überraschend „glatt" und astrein klingt.

Zwar liegen diese Fernsprech-Transistor-Mikrofone scheinbar außerhalb des Einflußbereiches eines Praktikers, aber diese Annahme täuscht. Wer sich ein solches Mikrofon beschafft, kann manche Anlage wesentlich verbessern, die sich bisher mit einem einfachen Kohle-Fernsprech-Mikrofon begnügte. Dazu gehören viele Rufanlagen sowie die Sender mancher Funkamateure.

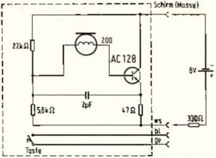
Genau auf diese Verwendung abgestimmt ist das dynamische Handricht-Mikrofon M 57 V (*Abb. 55*), dessen Innenschaltung *Abb. 56* wiedergibt. Es liefert fast 500 mV Tonspannung, enthält eine Taste für die Sende-Empfangsumschaltung und zeichnet sich durch hervorragende Sprachverständlichkeit aus.

11.2 Selbstgebautes magnetisches Transistor-Mikrofon

Moderne magnetische Mikrofone liefern eine überraschend gute Sprachverständlichkeit. Daher ist es naheliegend, daß man sie zusammen mit einem eingebauten Transistor-Vorverstärker dort benutzt, wo man sich bisher mit einem Kohle-Postmikrofon behalf. Das trifft z. B. bei Rufanlagen und Amateursendern zu.

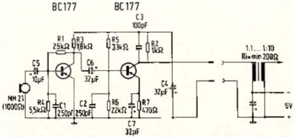
Abb. 57 zeigt eine selbstgebaute Ausführung im Größenvergleich mit einer Streichholzschachtel. Als Gehäuse dient eine „zweckentfremdete" Seifendose, die deshalb gewählt wurde, weil sie aus Messing besteht und eine gute Abschirmung sichert. Solche Dosen, meistens sind sie sogar hochglänzend vernickelt, erhält man am leichtesten in Lederwaren-Fachgeschäften als „Ersatzbestückung" für Reise-Necessaires. Aus *Abb. 58* geht die Innenschaltung hervor, außerdem der Anschluß an die erste Stufe des nachfolgenden Hauptverstärkers. In *Abb. 59* ist schließlich zu erkennen, wie man die Mikrofonspannung bei Amateursendern, die überwiegend noch mit Röhren bestückt sind, aus der Heizspannung erzeugt.

Hinweise für den Aufbau geben die *Abb. 60* und *61*. Sie lassen erkennen, daß als „Chassis" eine 2-mm-Hartpapierplatte (Lochraster-



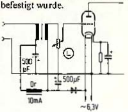
56 Schaltung des Transistor-Mikrofons M 57 V. Am 330-Ω-Widerstand wird die Tonspannung abgegriffen

57 Das selbstgebaute magnetische Transistor-Mikrofon im Größenvergleich zu einer Streichholzschachtel

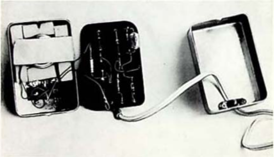


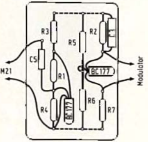
58 Schaltung des Verstärkerteiles und seine Anschaltung an die erste Verstärkerstufe. Die Kondensatoren C 1 bis C 3 dienen als Hf-Sperren bei Funksprechbetrieb, sie können in normalen Anlagen entfallen

platte) dient, auf der die Bauteile des Verstärkers sitzen, und daß die Mikrofonkapsel (Sennheiser electronic) im Deckel mit Schaumstoff-Klebestreifen befestigt wurde.



59 Speisespannungs-Erzeugung beim Anschluß an röhrenbestückte Amateursender





Oben: 60
Innenansicht des selbstgebauten Transistor-Mikrofons

61 So wird der Verstärkerteil auf einer dünnen Hartpapier- oder einer Lochrasterplatte verdrahtet. Die gestrichelt gezeichneten Verbindungen befinden sich zusammen mit den restlichen Kondensatoren auf der Rückseite

12 Spezial-Mikrofone

Beim Einreihen der nachstehend beschriebenen Mikrofone in die gebräuchlichen Klassen gelangt man erneut in Schwierigkeiten, genauso, wie sie im Abschnitt 2 erwähnt sind. Weil man nicht so recht weiß, ob man sie nach ihrer Arbeitsweise (dynamisch, magnetisch usw.), ihrer Form (Hand-, Stativmikrofon usw.) oder sonstwie zweckmäßiger klassifiziert, wollen wir sie unbesorgt in die Rubrik „Spezial-Mikrofone" einreihen. Wahrscheinlich ist das am praktischsten und es rundet auch das Bild über das weite Mikrofon-Gebiet am besten ab.

12.1 Lavalier-Mikrofone

Irgendwann einmal gab es in Frankreich eine Lebedame namens Lavalier. Ihr kapitalkräftiger Freund schenkte ihr ein überdimensionales Medaillon, dessen Nachbildungen die Juweliere in aller Welt seit dieser Zeit als Lavalier-Medaillons bezeichnen. Diesen Namen übertrug man in unserer Zeit auf jene Mikrofone, die sich Reporter und Vortragsredner an einer Schnur um den Hals hängen, um unabhängig vom festen Standort eines Stativ-Mikrofones zu sein.

Würde man hierfür normale, handelsübliche Mikrofone benutzen, so wäre das Ergebnis wenig befriedigend. Weil ihre Einsprache (Schallöffnung) senkrecht nach oben zeigt, bespricht man sie bei dieser Betriebsweise seitlich. Das führt zu einem Absinken der Höhenwiedergabe. Außerdem würde das Reiben des Mikrofongehäuses an der Kleidung des Sprechers zu unerträglichen Störgeräuschen führen.

Spezielle Lavalier-Mikrofone, z. B. das Modell MD 214 von Sennheiser electronic *(Abb. 62)*, berücksichtigen beide Tücken. Die

Frequenz-Kennlinie *(Abb. 63)* weist bei den Höhen oberhalb 2 kHz einen deutlichen Anstieg auf, jedoch nur bei Besprechung von vorn (0°). Bei seitlichem Sprechen (90°) verläuft der Frequenzgang gemäß der gestrichelt eingetragenen Kurve, also linear. Eine besondere Innenkonstruktion in Gestalt einer federnden Systemaufhängung unterdrückt die gefürchteten Reibegeräusche.

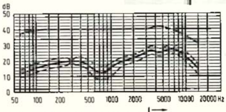
Das beschriebene Modell ist eine dynamische Type, aber im Prinzip wäre jedes beliebige Mikrofon geeignet, das den geschilderten Frequenz-Anstieg bei den Höhen aufweist. Zahlreiche Firmen bauen solche Lavalier-Mikrofone. Eine besonders nette Idee hatte die AKG. Ihr Lavalier-Mikrofon ist auf der einen Seite dunkel, auf der anderen weiß angestrichen. Je nach Trageweise „tarnt" es sich sowohl auf dem dunklen Anzug als auch auf dem weißen Oberhemd des Sprechers.

12.2 Drahtlose Mikrofone

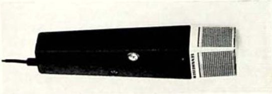
Wenn in diesem Buch von drahtlosen Mikrofonen gesprochen wird, so sind darunter nicht jene Primitiv-Typen gemeint, die geschäftstüchtige Versand- und Importfirmen unter dieser stolzen Bezeichnung vertreiben. Das sind jene unzulässigen Ausführungen, die im UKW-Rundfunkbereich arbeiten, mit jedem Rundfunkgerät zu empfangen sind und die man richtiger als „Minispione" bezeichnen muß. Ihr Betrieb ist in der Bundesrepublik unter Strafe gestellt, und der Leser sei nachdrücklich gewarnt, solche Typen zu benutzen. Wir sprechen dagegen von einem hochwertigen Gerät. Ausdrücklich sei betont, daß für den Betrieb eine Lizenz der Bundespost erforderlich ist und daß diese nur für solche Typen erteilt wird, die vom Fernmeldetechnischen Zentralamt geprüft sind und eine sogenannte FTZ-Nummer tragen. Doch zum Thema:

Alle normalen Mikrofone sind irgendwie an die Übertragungseinrichtung (Tonbandgerät, Lautsprecheranlage, Rundfunksender) „angebunden", nämlich über das nicht allzu bewegliche Mikrofonkabel. Bei der Tonjagd kann das recht lästig sein, z. B. wenn man im Ge-

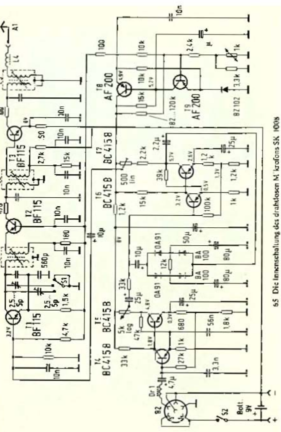
62 Das Lavalier-Mikrofon MD 214 von Sennheiser



63 Frequenzkurve des Mikrofons nach Bild 62



64 Das drahtlose Mikrofon SK 1008 von Sennheiser



65 Die Innenschaltung des drahtlosen Mikrofons SK 1008

dränge an einen Interview-Partner herankommen will, wenn möglichst unbemerkt Kinder- oder Tierstimmen aufzunehmen sind, oder auch wenn ein Vortragsredner auf dem Podium hin- und hergehen muß. etwa zwischen Pult und Demonstrations-Objekten.

Schon in den Kinderjahren des Hörrundfunks benutzten seine Reporter gelegentlich Kleinstsender, die sie wie einen Tornister auf dem Rücken trugen. und die mit ihrer Reichweite von vielleicht 100 m die Entfernung zum abseits aufgestellten Übertragungswagen drahtlos überbrückten. Heute ist ein Bunter Abend im Fernsehen ohne drahtlose Mikrofone gar nicht mehr denkbar. Der frühere Tornister-Sender ist zu einem Etui in der Größe einer 25er-Zigarettenpackung zusammengeschrumpft, das der Sprecher unauffällig in einer inneren Jacken- oder in der Hosentasche trägt. Als Mikrofon dient gewöhnlich eine Lavalier-Type, die der Ausschnitt des Anzuges nahezu unsichtbar macht.

Das in *Abb. 64* gezeigte drahtlose Mikrofon SK 1008 hat ungefähr die gleichen Abmessungen wie ein drahtgebundenes Mikrofon. Man kann es in der Hand halten oder wie ein Lavalier-Mikrofon umhängen. Wenn es „unsichtbar" getragen werden soll, zieht man die aufsteckbare Mikrofonkapsel ab, trägt den Senderteil unter dem Anzug und schließt ein winziges Kondensator-Ansteckmikrofon an. Das Mikrofon ist auf die drei von der Post hierfür zugewiesenen Sendefrequenzen 36,1 MHz, 37,7 MHz oder 37,9 MHz umschaltbar. Außerdem sind Sonderfrequenzen zwischen 30 und 45 MHz verfügbar. Interessante Details: Die Strahlungsleistung beträgt 1 mW, die Modulationsart ist FM, und die Stromaufnahme aus der eingebauten Batterie liegt bei 11 mA. *Abb. 65* zeigt die Innenschaltung.

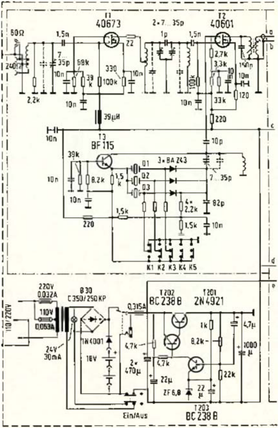
Der zugehörige Empfänger EM 1010 hat einen quarzstabilisierten Oszillator und ist auf fünf verschiedene Kanäle umschaltbar *(Abb. 66)*. Das eingebaute Meßinstrument wird in der Regel als Feldstärkeanzeiger (S-Meter) betrieben. Man kann also etwa schon vor einer Übertragung mit dem drahtlosen Mikrofon probeweise das Gebiet abschreiten, innerhalb dessen mit ausreichender Empfangsfeldstärke

66 Der Mikroport Empfänger EM 1010

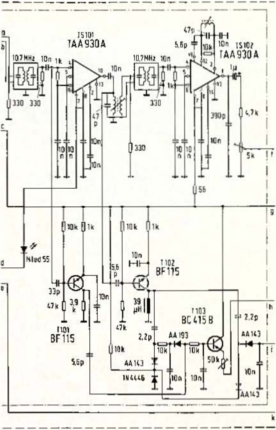
zu rechnen ist. Durch Umschalten läßt sich die abgehende Nf-Spannung kontrollieren, die bei 40 kHz Hub und mehr als 1 µV Antennenspannung 1,55 V beträgt. Der eingebaute Kontrollautsprecher schaltet sich automatisch ab, wenn man einen Kopfhörer ansteckt. Zur Stromversorgung dient entweder die eingebaute Batterie (2 x 9 V), das eingebaute Netzteil oder eine externe Kfz-12-V-Batterie (Übertragungswagen). Die Umschaltung von Netz- auf Batteriespeisung erfolgt automatisch. Bemerkenswert ist ferner, daß dieser Empfänger auch mit einem oder mehreren anderen im Diversitybetrieb arbeiten kann. Das bedeutet, daß von mehreren auf der gleichen Frequenz arbeitenden Empfängern sich immer derjenige automatisch einschaltet, der gerade den besten Empfang hat. *Abb. 67* vermittelt einen Eindruck von der Schaltungstechnik dieses Gerätes.

12.3 Geräuschkompensierende Mikrofone

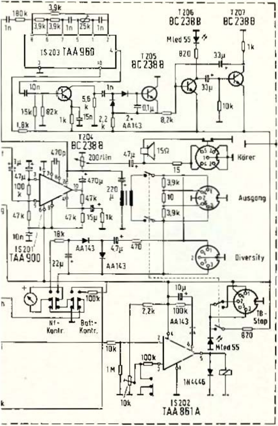
Für Rufanlagen in halliger und lärmerfüllter Umgebung (Bahnhöfe, Flughäfen, Sporthallen, Maschinenräume, öffentliche Verkehrsmittel) gibt es Mikrofone für Nahbesprechung, die für Störschall praktisch unempfindlich sind. Ein Beispiel hierfür ist das dynamische Hypercardioid-Differentialmikrofon D 558 B der AKG (*Abb.*



67 Der Empfänger EM 1010 enthält eine aufwendige Schaltung


TS101
TAA 930 A
TS102
TAA 930 A
10,7 MHz
10,7 MHz
T101
BF 115
T102
BF 115
T103
BC 415 B
AA 193
AA 143
1N4446
39 µH
50k
4,7k
390p
5,6p
47p
2,2p
33p
3,9 k
47k
10k
1k
1µ
330
56
5k
a
b
c
d
e
f
g
h
i
k

zu 67

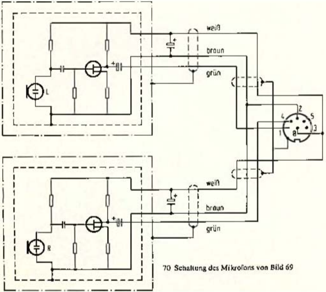


T206
BC 238 B
T207
BC 238 B
IS 203 TAA 960
T205
BC 238 B
T204
BC 238 B
Hörer
Ausgang
Diversity
IS 201
TAA 900
Nf-
Kontr.
Batt-
Kontr.
TB-
Stop
Mled 55
1N4446
IS 202
TAA 861 A

zu 67

68 Dynamisches Kompensationsmikrofon D 558 B (AKG)

69 Stereo-Kondensator-Mikrofon GCMS 332 von Grundig



70 Schaltung des Mikrofons von Bild 69

68). Wie dieses Bild erkennen läßt, befinden sich dicht hinter der Membranebene zwei weitere Schalleintrittsschlitze, so daß aus einiger Entfernung eintretender Schall praktisch gleichzeitig die Membran beaufschlagt. Erfolg: Es findet keine Auslenkung statt, das angeschlossene Gerät bleibt stumm. Erst bei Nahbesprechung von vorn, also wenn der Nutzschall deutlich überwiegt, spricht das Mikrofon an.

12.4 Stereo-Mikrofone

Theoretisch eignen sich für Stereo-Übertragungen alle bekannten Nieren-Mikrofone, und zwar unter der Voraussetzung, daß für jeden Kanal die gleiche Type bei richtiger Polung verwendet wird. In der Praxis zieht man jedoch Spezialausführungen vor, bei denen schon die Fabrik für bestes Übereinstimmen der technischen Werte in beiden Kanälen sowie für die richtige Polung sorgte. Je nach dem gewünschten Effekt wird ein solches Mikrofon-Paar auf einem gemeinsamen Ständer betrieben (Kapsel-Einsprachen leicht nach außen gerichtet), der mitten vor dem Orchester steht. Werden besonders ausgeprägte Rechts/Links-Effekte gewünscht, löst man die Kapseln aus der Halterung und stellt sie in größerem Abstand seitlich auf eigene Stative. Für die beiden Systeme kann man je nach gewünschtem Aufwand Tauchspul- oder Kondensatorkapseln mit Nierenkennlinien verwenden. Als Beispiel sei das Stereo-Kondensator-Doppelmikrofon GCMS 332 von Grundig erwähnt *(Abb. 69)*, dessen interessante Innenschaltung aus *Abb. 70* hervorgeht.

13 Richtige Mikrofonaufstellung

Wer mit Mikrofonen experimentiert, macht schnell eine bemerkenswerte Erfahrung: Eigentlich ist das ganz natürlich, aber man muß es in der Praxis erleben, in wie hohem Maß die Nf-Lautstärke vom Besprechungsabstand (z. B. Entfernung zwischen Mund und Mikrofon) abhängt. Die Wiedergabe-Lautstärke über ein Lippen-Mikrofon, also über ein solches, das an einer Hör-Sprechgarnitur angebracht ist, ändert sich sehr deutlich, wenn man den Abstand von beispielsweise 2 cm auf 5 cm erhöht. Spricht man bei 2 cm Abstand und vorher auf Vollaussteuerung eingepegeltem Verstärker nur eine Silbe etwas zu akzentuiert, so kommt es sicher zu einer häßlichen Übersteuerung. Bei 5 cm Abstand ist diese Gefahr bereits geringer, immer wieder vorausgesetzt, daß man wieder auf Vollaussteuerung einpegelte. Erhöht man den Besprechungsabstand weiter – etwa auf 30...50 cm –, so ergibt sich eine immer bessere Elastizität. Gelegentliche „Akzente" stören nicht mehr.

Nun kann man den Abstand zwischen Schallquelle und Mikrofon nicht beliebig groß machen. Täte man das, so würde irgendwann einmal der Direktschall vom überall reflektierten übertroffen und die Übertragung klänge unnatürlich verhallt. Ein einfacher Versuch: Lassen Sie eine Schallquelle – etwa eine Trompete – mit gleicher Lautstärke tönen und entfernen Sie sich mit dem Mikrofon immer mehr. Eine Zeitlang wird die erzeugte Nf-Spannung sinken, weil der „Direktschall" abnimmt. Irgendwo kommt aber einmal ein Punkt, von dem ab die Nf-Spannung nicht mehr zurückgeht. Das ist jener, von dem ab der im Raum reflektierte Schall dem Direktschall überwiegt. Kurz vor diesem Punkt, an dem dieses Phänomen einsetzt, liegt der sogenannte Hallradius. Für Musikaufnahmen ist er der günstigste Mikrofon-Aufstellungspunkt. Unter diesen Gegebenhei-

ten kommt man zu einer Reihe von Erfahrungen, die sich in Ratschlägen des Verfassers und der Industrie niederschlagen.

13.1 Monoaufnahmen

Agfa-Gevaert sagt, daß sich Kammermusik-Ensembles und kleine Besetzungen für Tanzmusik (Combos) mit einem einzigen Nieren-Mikrofon aufnehmen lassen. Empfehlenswert ist ein Mikrofonstativ mit Ausleger, denn das Mikrofon sollte in diesem Fall in einer Höhe von 1,80 m...2 m stehen. Gegen Trittschall im Aufnahmeraum sollte man das Mikrofon durch Schaumgummi-Polster unter den Stativbeinen schützen.

Zur Aufnahme eines größeren Orchesters braucht man ein bis auf 5 m ausziehbares Stativ. Seine Höhe gleicht den Abstand der vorn sitzenden Musiker gegen die weiter hinten plazierten dadurch aus, daß die Mikrofonhöhe den Abstand zwischen vorn und hinten egalisiert. Bei kleineren Gruppen mit 20 Mitwirkenden genügen als Entfernung zum Vordersten 1,5 m und eine Mikrofonhöhe von 2,5 m. Bei einem Chor mit 60 bis 80 Sängern ist mit 3 m Entfernung und mit einer Mikrofonhöhe von 5 m zu rechnen.

Wer über mehrere Mikrofone und ein Mischpult verfügt, kann mit Polymikrofonie arbeiten: Er teilt jedem Instrument ein Nahbesprechungsmikrofon zu und mischt deren Signale nach seinem Geschmack zusammen (= „abmischen"). Die großen Studios machen sich die Arbeit sehr leicht, indem sie z. B. 16 Mikrofon-Darbietungen auf einem 16-Kanal-Bandgerät aufnehmen und dann hinterher in aller Ruhe den ihrer Meinung nach „Idealklang" abmischen. Der Amateur muß dieses mühsame Geschäft mangels einer Vielkanal-Maschine schon während der Aufnahme erledigen. Wie man die einzelnen Mikrofone am besten aufstellt, geht nach Agfa-Gevaert wie folgt vor sich:

Flügel:

Das Mikrofon wird auf der Verlängerung der Tastatur etwa 1,20 m nach rechts und 50 cm bis 1 m höher als die Saiten aufgestellt. Der Deckel ist geöffnet und das Mikrofon wird auf die kürzeren Saiten gerichtet. Eine andere Aufstellungsart empfiehlt, das Mikrofon auf einer Geraden aufzustellen, die im Winkel von 45° auf die Hauptachse des Instruments dort trifft, wo die Achse den Mittelpunkt der Krümmung der Flügelspitze trifft *(Abb. 71)*. Dabei steht das Mikrofon in etwa 1,50 m Entfernung und 1,50 m Höhe. Diese Aufstellungen eignen sich auch für Cembalo-Aufnahmen.

Klavier:

Das Mikrofon steht 30 cm hinter dem Klavier, 40 cm über dessen Oberkante, es zeigt auf die Mitte der Tastatur.

Solosänger:

Je nach Stimmstärke und den Begleitinstrumenten wird das Mikrofon in 30 cm...80 cm Entfernung etwas über Kopfhöhe, auf den Mund weisend, aufgestellt. Wenn einzelne Laute knacken oder beim Buchstaben „s" kräftiges Zischen zu hören ist, muß der Abstand vergrößert oder leicht am Mikrofon vorbeigesungen werden. Windschutz ist zu empfehlen; will der Sänger das Mikrofon in die Hand nehmen, muß ausprobiert werden, welche Type die geringsten Handgeräusche abgibt. Kabelgeräusche verhindert eine Schleife, in der das Kabel am Mikrofon gehalten wird.

Schlagzeug:

Das Mikrofon zeigt aus 50 cm...80 cm Entfernung auf die kleine Trommel. Das Schlagzeug muß so trocken wie möglich klingen, damit der Rhythmus nicht verwischt wird. Die hohen Frequenzen (Besen) erfordern ein ausgezeichnetes Mikrofon. Bei Tanzmusikaufnahmen wird zuerst der Schlagzeuganteil und danach der der anderen Instrumente eingeregelt.

Gitarre:

Entfernung des Mikrofons etwa 30 cm vom Schalloch des Instruments.

Tanzmusikaufnahmen:

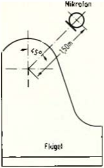
Wenn ein Instrument trotz Stützmikrofon nicht deutlich zu hören ist, weil lautstarke Instrumente das Mikrofon „mitbenutzen", und auch durch eine Aufstellungsänderung nichts zu erreichen ist, helfen Trennwände aus Holz, die mit Schaumstoff bekleidet werden. Das leise Instrument wird mit den Stellwänden gegen die anderen Instrumente abgeschirmt, die Aufnahme wirkt dadurch insgesamt prägnanter. – Elektronische Instrumente, wie Elektronenorgel oder -gitarre, können auch direkt angeschlossen werden.

Orgelaufnahmen:

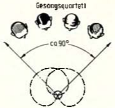
Sie sind besonders schwierig, da die Aufstellung des Mikrofons von der Größe des Instruments und der Akustik des Raums abhängt. Auf jeden Fall soll das Mikrofon vor der Mitte der Orgel stehen; als Anhaltswert wird vorgeschlagen, es auf der Höhe der Mitte der längsten Pfeife und so weit von der Orgel entfernt aufzustellen, wie die Pfeife lang ist. Die beste Zeit für Orgelaufnahmen ist die späte Nacht, da sonst Außengeräusche besonders stark stören. Barockorgeln mit abgesetztem Rückpositiv und Pedalwerk sind kritisch, die richtige Klangbalance setzt einiges Probieren voraus.

Violine, Bratsche, Violoncello und Kontrabaß:

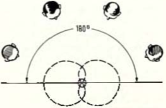
Das Mikrofon zeigt aus etwa 1 m...1,40 m Höhe über dem Instrument auf dessen Deckel (f-Löcher). Genau läßt sich der richtige Standpunkt nicht angeben; auf Bogen- und Kleidergeräusche ist zu achten.



71 Mögliche Aufstellung eines Mikrofons beim Aufnehmen eines Flügels oder Cembalos



72 Aufstellung eines Stereo-Mikrofons und der Mitwirkenden für natürliche und gleichmäßige Verteilung der Stimmen



73 Mikrofonaufstellung zur Betonung des Stereo-Effektes

74 Mikrofonaufstellung für extremen Rechts-Links-Effekt

Holzblasinstrumente:

Das Mikrofon steht etwas über Kopfhöhe des Spielers in etwa 1 m Entfernung. Je nachdem, wo die Klangqualität besser ist, wird es auf die Griff-Löcher oder die untere Öffnung (Schalltrichter) gerichtet, also keinesfalls so aufgestellt, daß es von unten herauf in den Schalltrichter hineinzeigt. Man achte auf Klappengeräusche, notfalls muß der Mikrofonstandort geändert werden.

Blechbläser:

Wiederum zeigt das Mikrofon von oben auf den Schalltrichter. Entfernung etwa 1,50 m...2 m, bei Verwendung eines Dämpfers weniger als 1 m.

13.2 Stereoaufnahmen

Einige recht instruktive Anregungen für die richtige Anwendung von Stereo-Mikrofonen für den Heimgebrauch macht Telefunken. Um etwa ein Gesangs-Quartett in natürlicher und gleichmäßiger Stimmenverteilung aufzunehmen, dreht man beide Kapseln so nach außen, daß ihre Einsprachen einen Winkel von 90° zueinander bilden. In *Abb. 72* erkennt man gestrichelt die stilisierten Mikrofon-Kennlinien und sieht auch deutlich, wie sich die Mitwirkenden aufstellen müssen. Soll der Stereo-Effekt stärker betont werden, dann empfiehlt sich eine Anordnung nach *Abb. 73*. Die Mikrofonkapseln stehen zueinander im Winkel von 180° und die Sänger bilden einen Halbkreis um das Mikrofon. Schließlich zeigt *Abb. 74*, wie man den Stereoeindruck extrem überbetonen kann. Die beiden Kapseln stehen auf getrennten Stativen, und sie sind noch dazu nach außen gerichtet. Vor jedem Stativ haben sich zwei Sänger plaziert, wodurch praktisch jedes noch so leise Übersprechen in den Nachbarkanal unmöglich wird, was zu der angestrebten Extremwirkung führt.

14 Mikrofon-Steckvorrichtungen und ihre Beschaltung

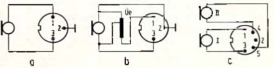
In Übertragungsanlagen findet man noch immer die verschiedensten Ausführungen von Mikrofonsteckern und natürlich auch alle möglichen Beschaltungen der Stecker-Kontakte. Häufig werden schwere Flanschdosen und Steckerteile mit Überwurfmuttern benutzt, und weil nicht alle Mikrofon-Fabrikanten neutrale Stecker (z. B. Tuchel), sondern Eigenerzeugnisse vorsehen, erfordert der Anschluß eines Fremdfabrikates oft umständliche Lötarbeiten.

Anders ist es bei den Mikrofonen für Magnetton-Heimgeräte, also bei jenen Modellen, mit denen es der Praktiker am häufigsten zu tun hat. Hier haben sich drei- und fünfpolige Normstecker nach DIN 41 524 allgemein durchgesetzt. Aus *Abb. 75* geht die Steckerbeschaltung bei den verschiedenen Mikrofonarten hervor. Niederohmige Mikrofone, deren Eingangsübertrager im Verstärker sitzt und die deshalb Kabellängen von maximal 200 m vertragen, schließt man an die Punkte 1–3 des Normsteckers an, die Abschirmung liegt an Punkt 2 (*Abb. 75a*). Sehr viele dynamische Tonband-Mikrofone enthalten (vgl. Abschnitt 4) einen eingebauten Aufwärtsübertrager Üe (*Abb. 75b*), der so an den Stecker angeschlossen ist, daß man zwischen den Punkten 1–2 hohe Tonspannungen hochohmig und zwischen 2–3 niedrige Spannungen niederohmig zur Verfügung hat. Die Beschaltung der Steckvorrichtung eines niederohmigen Stereo-Mikrofons zeigt schließlich *Abb. 75c*.

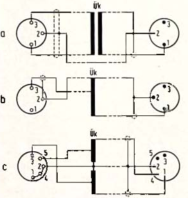
Sofern die nachgeschalteten Geräte Eingangsübertrager enthalten, können die Kabel beliebig verlängert werden, wobei man bei Beispiel 75b die Anschlüsse 2–3 wählt. Fehlen Eingangsübertrager, so kann man diese am Ende der Verlängerung in Gestalt von Kabel-

übertragern zwischenstecken. Die Innenschaltungen gehen aus *Abb. 76* hervor.

Eine Ausnahme bildet das Mikrofon nach Abb. 75b. Es läßt sich ohne Kabelübertrager (allerdings auch nur ohne Verlängerung) unmittelbar an den hochohmigen Eingang anschließen, und zwar mit seinen Kontakten 1–2. Wünscht man eine Verlängerung, dann genügt ein einpoliges abgeschirmtes Kabel, das 2–3 des Mikrofonsteckers mit 2–3 des Kabelübertragers (*Abb. 76b*) verbindet. Der Stecker des Übertragers liegt dann mit 1–2 am hochohmigen Geräteeingang.



75 Mikrofonstecker-Beschaltung. a = niederohmig und erdsymmetrisch; b = nieder/hochohmig und unsymmetrisch; c = niederohmiges Stereo-Mikrofon



76 Beschaltung der Steckvorrichtungen an Kabel(Schnur)-Übertragern. a = niederohmig symmetrisch; b = niederohmig unsymmetrisch; c = wie b, aber Stereo

15 Tabellenanhang

Mikrofone für Übertragungsanlagen, Heimton und Studios

Fabrikat und Type	Mono	Stereo	Prinzip	Kennlinie	Innenwiderstand	Empfindlichkeit in mV/μbar *)	Frequenzbereich Hz	± dB	Anschluß	Stecker-beschaltung	Stativbefestigung	Besonderheiten	Preisklasse
AKG													
C 414 Ecomb	●		Ko	Ku/N/8/Hyperniere umschaltbar	200 Ω	0,60	20-20.000		S	2+3/Cannon	●		Auf Anfrage
C 451 Ccom	●		Ko	N	200 Ω	0,95	20-20.000		S	1+3	●	Modulsystem; als Kugel/Niere oder Keule lieferbar + div. Zubehör	G
C 505 C	●		Ko	N	200 Ω	0,25	30-20.000		S	1+3	●		F
D 12	●		T	N	200 Ω	0,22	30-16.000		Ka	1+2	●		F
D 58	●		T	Hyperniere	200 Ω	0,08	100-15.000		S	1+3	●		C
D 90 C	●		T	N	600 Ω	0,20	60-13.000		S	1+3	●	Geliefert incl. Kabel u. Tischstativ	C
D 109 TV	●		T	Ku	200 Ω	0,11	50-15.000		Ka	ohne Stecker		Lavalierzusatz	C
D 160 C	●		T	Ku	200 Ω	0,13	60-15.000		S	1+3	●		E
D 190 C	●		T	N	200 Ω	0,23	30-16.000		S	1+3	●		C
D 190 CS	●		T	N	200 Ω	0,23	30-16.000		S	1+3	●		D

D 190 CR	●		T	N	200 Ω	0,23	150-16.000		S	1+3	●		D
D 200 C	●		T	N	200 Ω	0,14	30-17.000		S	1+3	●		E
D 202 CS	●		T	N	200 Ω	0,18	20-18.000		S	1+3	●	Basschalter + Ausschalter	F
D 224 C	●		T	N	250 Ω	0,13	20-20.000		S	1+3	●	Basschalter	G
D 510 B	●		T	Ku	200 Ω	0,10	100-12.000		Montage	ohne Stecker		Schwanenhalsmikro	C
D 511 B	●		T	Ku	200 Ω	0,12	100-12.000		Montage	ohne Stecker		Schwanenhalsmikro	C
D 558 B	●		T	Hyperniere	200 Ω	0,10	300-12.000		Montage	ohne Stecker		Schwanenhalsmikro	C
D 707 C	●		T	N	200 Ω	0,16	60-16.000		S	1+3	●		C
D 900 C	●		T	KL	200 Ω	0,30	60-12.000		S	1+3	●		G
D 1200 C	●		T	N	200 Ω	0,23	25-17.000		S	1+3	●	Klangcharakteristik-Schalter "Bass"-Medium-Sharp	E
D 2000 C	●		T	N	220 Ω	0,23	25-15.000		S	1+3	●	Klangcharakteristik-Schalter "Bass-Medium" + Ausschalter	E
D ST 11/41	●		T	N	200 Ω	0,14	150-12.000		Montage	ohne Stecker		Tischsprechstelle	C
D ST 11/43	●		T	N	200 Ω	0,14	150-12.000		Montage	ohne Stecker		Tischsprechstelle	

Verwendete Abkürzungen:

B = Bändchen, Ke = keramisch, Ko = Kondensator, Kr = Kristall, ○ = lieferbar
Kl = Keule, Ku = Kugel, N = Niere, 8 = Acht
Ka = Kabel, S = Stecker, T = Tauchspule, V = eingebauter Vorverstärker
A = bis 50 DM, B = bis 100 DM, C = bis 200 DM, D = bis 300 DM, E = bis 400 DM, F = bis 500 DM, G = 1 200 DM

*) Umrechnungsfaktor in mV/Pa = x 10

Mikrofone für Übertragungsanlagen, Heimton und Studios (1. Fortsetzung)

Fabrikat und Type	Mono	Stereo	Prinzip	Kennlinie	Innenwiderstand	Empfindlichkeit in mV/µbar *)	Frequenzbereich	±dB	Anschluß	Steckerbeschaltung	Stativbefestigung	Besonderheiten	Preisklasse
D 401	●		Dyn.	Körperschallabnehmer	750 Ω	0,16 gemessen als Körperschallmikro	–			Klinke 6,3 Ø		Gitarrenadapter	B
Beyer													
M 55 LM	●		T	K	500 Ω	0,17	70-16.000	4	KaS	1/3+2	●		B
M 57	●		T	K	600 Ω	0,40	300- 4.000	4	Ka			Handmikrofon	B
M 57 V	●		T	K	600 Ω		300- 4.000	4	Ka			desgl. mit Vorverstärker	C
M 64 N	●		T	N	200 Ω	0,20	100-10.000	3	S	1+3		für Sprache	B
M 68	●		T	N	200 Ω	0,20	100-10.000	3	Ka			wie M 64 mit 360-mm-Schwanenhals	C
M 67 N	●	○	T	N	500 Ω	0,25	40-18.000	2,5	S	1+3	●		D
M 69 N	●	○	T	N	200 Ω	0,25	50-16.000	3	S	1+3	●	M 69 SM mit Sprache-Musik-Schalter	C
M 81 LM	●	○	T	N	500 Ω	0,23	50-16.000	3	Ka	1/3+2	●	M 818 als Stereo-Paar	C
M 88 N	●	○	T	H	200 Ω	0,25	30-20.000	2,5	S	1+3	●		F
M 101 N	●		T	K	200 Ω	0,13	40-20.000	2,5	S	1+3	●		D
M 111 N	●		T	K	200 Ω	0,07	60-15.000	2,5	KaS	1+3		Lavaliermikrofon	D

M 160 N	●	○	BB	H	200 Ω	0,10	40-18.000	2,5	S	1+3	●		G
M 201 N	●	○	T	H	200 Ω	0,14	40-18.000	2,5	S	1+3	●		D
M 260 N	●	○	B	H	200 Ω	0,09	50-18.000	2,5	S	1+3	●	M 260 SM m. Sprache-Musik-Sch.	D
M 410 N (T)	●		T	N	200 Ω	0,25	300-12.000	3	S	1+2	●	Kommandomikrofon	C
M 411 N (T)	●		T	N	200 Ω	0,14	200-12.000	3	S	1+2	●	Kommandomikrofon	C
M 412 N (T)	●		T	N	200 Ω	0,14	200-12.000	3	S	1+2	●	Kommando-M. mit elastisch verformbarem Gehäuse (Sicherheits-M)	C
M 500 N	●	○	B	H	200 Ω	0,13	40-18.000	2,5	S	1+3	●		D
M 550 LM	●		T	K	500 Ω	0,20	70-18.000	4	KaS	1/3+2	●		B
X 1 N	●	○	T	N	200 Ω	0,20	30-18.000	2,5	S	1+3	●		C
X 1 HLM	●	○	T	N	200 Ω	0,24	30-18.000	2,5	S	2+3	●		D
					500 Ω	0,40				1+2			
					25 kΩ	2,5				1+2			
M 810 N	●	○	T	N	500 Ω	0,3	50-16.000	3	S	1+3	●		C
DYNACORD													
DD 120	●		T	N	230 Ω	0,15	60-16.000	3	S	1+3	●		C
DD 333	●		T	N	200 Ω	0,18	30-15.000	3	S	1+3	●		D
DD 600	●		T	N	220 Ω	0,23	25-15.000	3	S	1+3	●	Klang-Schalter	E

Verwendete Abkürzungen:

B = Bändchen	Ke = keramisch	Ko = Kondensator	Kr = Kristall	○ = lieferbar
Kl = Keule	Ku = Kugel	N = Niere	8 = Acht	
Ka = Kabel	S = Stecker	T = Tauchspule	V = eingebauter Vorverstärker	
A = bis 50 DM	B = bis 100 DM	C = bis 200 DM	D = bis 300 DM	E = bis 400 DM F = bis 500 DM G = 1 200 DM

*) Umrechnungsfaktor in mV/Pa = x 10

Mikrofone für Übertragungsanlagen, Heimton und Studios (2. Fortsetzung)

Fabrikat und Type	Mono	Stereo	Prinzip	Kennlinie	Innenwiderstand	Empfindlichkeit in mV/µbar *)	Frequenz-bereich	± dB	Anschluß	Stecker-beschaltung	Stativbefestigung	Besonderheiten	Preisklasse
DD 555	●		T	N	200 Ω	0,3	50-15.000	3	S	1+3	●		E
DD 410 S	●		T	N	200 Ω	0,25	300-12.000	3	S	1+2	●	Schalter	C
DC 220	●		Ko,V	N	600 Ω	0,3	30-16.000	3	S	1+2	●	Schalter	B
MD 421 N	●		T	N	200 Ω	0,2	30-17.000	3	S	1+2	●	Klangschalter	D
MD 441 N	●		T	H	200 Ω	0,2	30-20.000	3	S	1+2	●	Schalter	F
Grundig													
GDM 308	●		T	Ku	700 Ω	0,2	80-15.000	3	KaS	1/4+2 6 + 7		Schaltmikrofon mit Fußstütze Ansteck-Clip	A
GDM 314	●		T	Ku	200 Ω 10 kΩ	0,13 0,9	80-15.000	3	KaS	1/4 + 2 3 + 2		mit Tischfuß	A
GCM 319	●		KoV	N	1 kΩ	0,9	60-18.000	3	KaS	1/4 + 2 8		mit Tischfuß	A
GCMS 332		●	KoV	N	1 kΩ	0,9	60-15.000	3	KaS	1 + 2 4 + 2 8	●	mit Tischfuß	B
GDSM 331		●	TT	N	200 Ω 11 kΩ	0,13 0,9	150-15.000	3,5	KaS	1 + 2 4 + 2 3 + 2 5 + 2	●	mit Tischstativ Schnurübertrager	B

Peerless-MB													
MB 115	●		T	Ku	200 Ω	0,15	40-20.000	2,5	S	1+3	●	Studiomikrofon	C
MB 170	●		T	Ku	700 Ω	0,24	50-15.000	3	KaS	1+2		Amateur	A
MB 190	●		T	Ku	500 Ω	0,22	100-10.000	3,5	KaS			Füllhalter	B
MB 207	●		T	N	200 Ω	0,15	80-16.000	2,5	KaS	2+3	●	Amateur	B
MB 207 Tr	●		T	N	200 Ω/ 50 kΩ	2,5				2+1	●		
MB 215	●		T	N	200 Ω	0,16	50-18.000	2,5	S	1+3	●	Studio	C
MB 270	●		T	N	200 Ω	0,15	70-15.000	2,5	KaS	2+3			B
MB 270 Tr	●		T	N	200 Ω/ 50 kΩ	2,5				2+1			C
MB 220		●	T	NN	200 Ω	0,15	80-15.000	3	KaS	2+3	●	Stereo	B
MB 220 TR		●	T	NN	200 Ω/ 50 kΩ	2,5				2+1			C
MB 301	●		B	N	200 Ω	0,12	40-18.000	2,5	S	1+3	●	Studio	C
MBC 500/1	●		Ko	Ku	ca.500 Ω	0,18	30-20.000	2	KaS	1+2	●	Studio	D
MBC 500/2	●		Ko	N	ca.500 Ω	0,20	30-20.000	2	KaS	1+2	●	Studio	D
MBC 540/1	●		Ko	Ku	ca.500 Ω	0,4	20-20.000	2	S	1+2	●	Studio	D
MBC 540/2	●		Ko	N	ca.500 Ω	0,5	20-20.000	2	S	1+2	●	Studio	D

Verwendete Abkürzungen:

B = Bändchen Ke = keramisch Ko = Kondensator Kr = Kristall ○ = lieferbar
Kl = Keule Ku = Kugel N = Niere 8 = Acht
Ka = Kabel S = Stecker T = Tauchspule V = eingebauter Vorverstärker
A = bis 50 DM B = bis 100 DM C = bis 200 DM D = bis 300 DM E = bis 400 DM F = bis 500 DM G = 1 200 DM
• = lieferbar in den Ausführungen als Kugel- oder Nierenmikrofon

*) Umrechnungsfaktor in mV/Pa = x · 0

Mikrofone für Übertragungsanlagen, Heimton und Studios (3. Fortsetzung)

Fabrikat und Type	Mono	Stereo	Prinzip	Kennlinie	Innenwiderstand	Empfindlichkeit in mV/µbar *)	Frequenzbereich	±dB	Anschluß	Steckerbeschaltung	Stativbefestigung	Besonderheiten	Preisklasse
MBC 548/1	●		Ko	Ku	ca.200Ω	0,35	20-20.000	2	S	1+3	●	Studio	E
MBC 548/2	●		Ko	N	ca.200Ω	0,4	20-20.000	2	S	1+3	●	Studio	E
Peiker													
TM 40 N	●		T	N	200 Ω	0,18	35-18.000	3	KaS	3+1	●	Sprach-Musik-Regler	D
TM 41 N	●		T	N	200 Ω	0,16	40-16.000	3	KaS	3+1	●		D
TM 91 N	●		T	N	200 Ω	0,18	60-13.000	3	Ka	3+1	●		A
TM 92 N/K	●		T	N	200 Ω	0,18	60-13.000	3	KaS	3+1	●		B
TM 102 N	●		T	N	200 Ω	0,14	45-14.000	3	Ka	3+1	●		C
TM 104 N	●		T	N	200 Ω	0,17	50-14.000	3	KaS	3+1	●		C
Philips													
N 8210	●		T	Ku	500 Ω	0,27	63-17.000		KaS	1+2	1)	m. Fernbedienung (Start/Stop)	A
N 8211	●		T	Ku	500 Ω	0,27	63-17.000		KaS	1+2	1)	Wie N 8210, jedoch ohne Fernbed.	A
N 8306	●		T	N	500 Ω	0,27	100-19.000		KaS	1+2	1) ●		A
N 8307	●		T	N	500 Ω	0,24	80-20.000		KaS	1+2	1) ●		B
N 8500	●		Elektret	N	1000 Ω	0,35	35-18.000		KaS	1+2	1) ●	(DIN 45500)	C

1) Tischstativ wird mitgeliefert

N 8200	●		T	Ku	500 Ω	0,20	125-12.500		KaS	1+2	1)	m. Fernbedienung (Start/Stop)	A
Sennheiser Dynamische Mikrofone:													
MD 441 N	●	○	T	Super-N	200 Ω	0,20	30-20.000	3	S	1+3	●	Studiorichtmikrofon mit doppeltem Gehäuse, mit Brillanzschalter und Baßeinsteller	E
MD 441-2	●	○	T	Super-N	200 Ω	0,20	30-20.000	3	S	+2	●	dto. mit Brillanzschalter	E
MD 421 N	●	○	T	N	200 Ω	0,20	30-17.000	3	S	+3	●	Studiorichtmikrofon Baßeinsteller	D
MD 421-2	●	○	T	N	200 Ω	0,20	30-17.000	3	S	+2	●	Studiorichtmikrofon	D
MD 412 LM	●	○	T	Super-N	800 Ω	0,20	50-12.500	3	KaS	1(=3)+2	●	Sprache-Musik-Schalter	B
MD 402 LM	●	○	T	Super-N	750 Ω	0,23	80-12.500	3	KaS	1(=3)+2	●	Amateurmikrofon, Metallgehäuse	B
MD 413 N	●	○	T	N	200 Ω	0,13	50-15.000	3	S	1+3	●	Solistenmikrofon	C
MD 416 N	●	○	T	N	200 Ω	0,13	50-15.000	3	S	1+3	●	Solistenmikrofon dopp.Gehäuse	D

Verwendete Abkürzungen:

B = Bändchen Ke = keramisch Ko = Kondensator Kr = Kristall ○ = lieferbar

Kl = Keule Ku = Kugel N = Niere 8 = Acht

Ka = Kabel S = Stecker T = Tauchspule V = eingebauter Vorverstärker

A = bis 50 DM B = bis 100 DM C = bis 200 DM D = bis 300 DM E = bis 400 DM F = bis 500 DM G = 1 200 DM

* = lieferbar in den Ausführungen als Kugel- oder Nierenmikrofon

*) Umrechnungsfaktor in mV/Pa = x 10

Mikrofone für Übertragungsanlagen, Heimton und Studios (4. Fortsetzung)

Fabrikat und Type	Mono	Stereo	Prinzip	Kennlinie	Innenwiderstand	Empfindlichkeit in mV/µbar *)	Frequenzbereich	±dB	Anschluß	Steckerbeschaltung	Stativbefestigung	Besonderheiten	Preisklasse
MD 408 N	●		T	Super-N	200 Ω	0,13	50-15.000	3	S	1+3	●	Schwanenhals-Richtmikrofon m. Schalter	C
MD 4	●		T	S+N	200 Ω	0,16	200-10.000	4	S	1+2		Spez. für Nahbesprechung	C
MD 420	●		T	Super-N	200 Ω	0,18	200-10.000	3	S	1+2		Spez. für Nahbesprechung	C
MD 21 N	●	○	T	Ku	200 Ω	0,20	40-18.000	3	S	1+3	●		C
MD 21-2	●	○	T	Ku	200 Ω	0,20	40-18.000	3	S	1+2	●	Musik- und Reportagemikrofon	C
MD 21 HL	●	○	T	Ku	30.000Ω u.200 Ω	0,25 u.0,2	40-18.000	3	S	1+2=H 3+2=L	●		C
MD 214	●		T	Ku	200 Ω	0,1	60-15.000	2,5	KaS	1+3		Lavaliermikrofon doppelt.	D
MD 214-1	●		T	Ku	700 Ω	0,2	60-15.000	2,5	KaS	4+1,2,5		Lavaliermikrofon Gehäuse für Mikroport	D
MD 211 N	●	○	T	Ku	200 Ω	0,13	30-20.000	2,5	S	1+3	●	Studiomikrofon	D
MD 321 N	●		T	Ku	200 Ω	0,045	50-15.000	3	S	1+3	●	Sondenmeßmikrofon	F
Elektret-Kondensator-Mikrofone:													
MKE 201	●	○	Ko	Ku	15 kΩ	2	50-15.000	3	KaS	1(=3)=Nf 2=Masse	●	mit Batterie, Batterieanzeige und Schalter	C
MKE 401	●	○	Ko	Super-N	15 kΩ	2	50-15.000	3	KaS	1(=3)=Nf 2=Masse	●	mit Batterie, Batterieanzeige und Schalter	D
MKE 802	●	○	Ko	Kl Super-N	15 kΩ	2	50-12.500	3	S	1(3)=Nf 2=Masse	●	desgl.	D

Elektret-Stereo-Mikrofon:													
MKE 2002		●	Ko	Ku	1,5 kΩ	1 und 0,24	40-20.000		KaS	1=li, 4=re, 2=Masse 3=li, 5=re	●	kopfbezogenes Stereo-Mikrofon mit Batterie	F
Kondensator-Mikrofone:													
MKH 435 T	●	○	Hf-Ko	N	20 Ω	2	40-20.000	1	S	1+3	●	Studiorichtmikrofon	G
MKH 415 T	●	○	Hf-Ko	Super N Kl	20 Ω	2	40-20.000	1	S	1+3	●	Studiorohrrichtmikrofon	G
MKH 815 T	●	○	Hf-Ko	Kl	20 Ω	4	50-20.000	1	S	1+3	●	Studiorohrrichtmikrofon	G
MK 12	●		Hf-Ko	Ku	150 Ω	0,32	40-20.000	2	KaS	1 pol. Hf-Stecker		Studio-Ansteckmikrofon für Mikroport-Sender	F
MKH 124	●		Hf-Ko	Ku	150 Ω	0,32	40-20.000	2	KaS	4=Nf 1,2,5 = 3= – SV		Studio-Ansteckmikrofon für Mikroport-Sender	G
MKH 125 T	●		Hf-Ko	Ku	20 Ω	2	40-20.000	2	KaS	1+3		Studio-Ansteckmikrofon	G

Verwendete Abkürzungen:
B = Bändchen Ke = keramisch Ko = Kondensator Kr = Kristall ○ = lieferbar
Kl = Keule Ku = Kugel N = Niere 8 = Acht
Ka = Kabel S = Stecker T = Tauchspule V = eingebauter Vorverstärker
A = bis 50 DM B = bis 100 DM C = bis 200 DM D = bis 300 DM E = bis 400 DM F = bis 500 DM G = 1 200 DM
• = lieferbar in den Ausführungen als Kugel- oder Nierenmikrofon

*) Umrechnungsfaktor in mV/Pa = x 10

Mikrofone für Übertragungsanlagen, Heimton und Studios (5. Fortsetzung)

Fabrikat und Type	Mono	Stereo	Prinzip	Kennlinie	Innenwiderstand	Empfindlichkeit in mV/µbar *)	Frequenzbereich	±dB	Anschluß	Steckerbeschaltung	Stativbefestigung	Besonderheiten	Preisklasse
MKH 105 T	●	○	Hf-Ko	Ku	20 Ω	2	20-20.000	2	S	1+3	●	Studiomikrofon	G
MKH 110	●		Hf-Ko	Ku	90 Ω	2	1-20.000	2	S	1=Nf 2=0 3=+SV	●	Spez.-Meßmikrofon	G
MKH 110-1	●		Hf-Ko	Ku	90 Ω	0,2	0,1-20.000	3	S	1=Nf 2=0 3=+SV	●	Spez.-Meßmikrofon	G
Telefunken													
TD 12	●		T	Ku	750 Ω	0,26	65-16.000	3	Ka	1,3+2			A
TD 16	●	○	T	N	750 Ω	0,24	50-16.000	3	Ka	1,3+2		Spezialstecker für Stereo	B
TD 26	●		T	N	750 Ω	0,26	50-18.000	3	Ka	1,3+2			B
TC 600 hifi	●		Ko	N	9 kΩ	0,2	20-20.000	*	Ka	1+2 8 Betriebsspannung	●	Windschutz Tischfuß, Batterie-Adapter im Beipack	D

*) Toleranz nach DIN 45 500 Bl. 5

Verwendete Abkürzungen:

B = Bändchen; Ke = keramisch; Ko = Kondensator; Kr = Kristall; ○ = lieferbar
Kl = Keule; Ku = Kugel; N = Niere; 8 = Acht
Ka = Kabel; S = Stecker; T = Tauchspule; V = eingebauter Vorverstärker
A = bis 50 DM; B = bis 100 DM; C = bis 200 DM; D = bis 300 DM; E = bis 400 DM; F = bis 500 DM; G = 1 200 DM
* = lieferbar in den Ausführungen als Kugel- oder Nierenmikrofon

*) Umrechnungsfaktor in mV/Pa = x 10

Sachverzeichnis

Abmischen 111
Achter|kapsel 68
– mikrofon 22
aktives Mikrofon 12
akustische Rückkopplung 88
anzischen 81
Aufwärtsübertrager 84
Aussteuerungsmesser 46

Balanceeinsteller 46
Bändchen-Mikrofon 11, 84
Betriebsbereitschaft 32
brummen 27

DIN 45 405 16
DIN 45 500 56
Direktschall 111
Diversitybetrieb 104
drahtlose Mikrofone 100
Dralowid-Reporter 50

Eigen|geräusch 26
– resonanz 89
Emitter-Auskopplung 46
– folger 78
Empfindlichkeit 14
Entkopplungswiderstände 42
Entzerrer 42
erdsymmetrisch 32
Ersatzlautstärke 15

Feld-Leerlauf-Übertragungsfaktor 14

Fremderde 81
Frequenzkurve 17, 79

Gegenelektrode 54, 68, 73
Geräuschspannungsabstand 16
Gitarre-Mikrofon 11, 90

Hallradius 111
Handmikrofon 47
Hf-Kondensator-Mikrofon 76
Höhenverlust 42
Hörkennlinie 68

Innenwiderstand 28

Kabel|geräusche 113
– übertrager 38
Kapselvorspannung 62
keramische Mikrofone 11
– Systeme 79
Klangzelle 79
Klassifizierung 9
Knotenpunkt 42
Kondensator|kapsel 73
– -Mikrofon 10
Kontrollbuchse 46
Körperschallabtaster 82
Kristall-Mikrofone 11, 79
„Kunstfleisch" 66
Kunstkopf 64

Längsstrom-Mikrofon 47
Lavalier-Mikrofone 99

Leitungs|länge 28
– übertrager 56
– widerstand 84
Luftspalt 38

Magnetische Mikrofone 11, 90
magnetisches Transistor-
Mikrofon 96
Membran 54
– folie 73
Mikrobar 14
Mikrofon|aufstellung 111
– lautsprecher 88
Mischpult 40
Mithörverstärker 46
Mittelanzapfung 32
Mono-Mikrofon 20
Mu-Metall 28, 38

Nahbesprechung 81
Nierenkapsel 68
Nullverbindungen 81

Orgelaufnahmen 114

Passives Mikrofon 12
Pegel 40
Polymikrofonie 112
Postkapsel 10, 47

Quadrofonie 64
Qualitätsstandpunkt 7
Querstrom-Mikrofon 50
– -Prinzip 47

Ratiodetektor 78
rauhe Betriebsbedingungen 85
Reisz-Mikrofon 10, 50

Resonanzstellen 80
Richtkennlinie 22
„Rücksprechen" 88

Sammelschiene 42
Schall|druck 14
– zeit 21
Selbstbau 51
Sprachverständlichkeit 89
Steckvorrichtungen 117
Stereo-Mikrofone 110
Stör|felder 38
– schall 104
Stützmikrofon 114
Summenpotentiometer 42
Supernieren 24

Tauchspul-Mikrofon 11, 85
Telefon-Hörkapseln 89
Thermosflasche 58
Ton|aderspeisung 59
– leitung 56
Transistor-Mikrofone 12, 94

Übersetzungsverhältnis 37
Übersprechen 116
Übersteuerung 56
Übertrager 37
Übertragungsbereich 80

Verzerrungen 24
Vollaussteuerung 40
Vorverstärker 42

Wartung 32
Windschutz 113

Zentralerdungspunkt 81

BIBLIOTHEEK
N.V.H.R.

101 • • • Elektronische Orgeln und ihr Selbstbau (Böhm). 5. Aufl.

103 • Die Wobbelsender (Sulaner) 3. Aufl.

104 • • Transistorsender für die Modellfernsteuerung (Bruß). 5. Aufl.

105 • • • Lautsprecher und Lautsprechergehäuse für HiFi (Klinger). 7. Aufl.

106 • • • Netztransformatoren und Drosseln (Klein). 4. Aufl.

109 • • • Transistor-Amateurfunkgeräte für das 2-m-Band (Reithofer). 4. Aufl.

114 • • Halbleiter-Experimente (Kleemann). 3. Aufl.

119 • • • Gedruckte Schaltungen (Sutaner/Wißler). 3. Aufl.

121 • • • Bastelpraxis Band IV. Transistorpraxis (Diefenbach). 2. Aufl.

125 • • • Betriebstechnik des Amateurfunks (Henske). 3. Aufl.

128 • • • Meßsender, Frequenzmesser und Multivibratoren (Sulaner). 2. Aufl.

131 • • • • Elektronische Grundschaltungen (Schweigert). 3. Aufl.

134 • • Kleines Halbleiter-ABC (Büscher, Wiegelmann). 2. Aufl.

136 • Transistorisierte Netzgeräte (Strobel). 3. Aufl.

157 • • Meßgeräte und Meßverfahren für den Funkamateur (Link). 2. Auflage.

160 • • • Relais (Köhler).

163 Regelungstechnik für Radio- und Fernsehtechniker und Elektroniker (Schweigert). DM 15.80.

166 • • Elektronik im Kraftfahrzeug (Stieber/Wilk). 2. Aufl.

168 • • • Vademekum für den Funkamateur KW und UKW (Diefenbach). 4. Aufl.

171 • • • Halbleiter-Schaltungstechnik einfach dargestellt (Benda). 2. Aufl.

174 • • Amateurfunkgeräte für das 70-cm-Band (Reithofer). 2. Aufl.

176 • • Integrierte Schaltungen für den Funkamateur (Birchel).

178 • • • • Schirmbilddiagnose und Messungen am Farbfernsehempfänger (Bochum/Dögl).

179 • • Digitale Elektronik für Anfänger (Kleemann). 2. Aufl.

180 • • • KW- und UKW-Sender für den Funkamateur (Diefenbach).

300 • • Kfz-Elektronik im Selbstbau (Jansen)

301 • • • Nf-Elektronik (Sabrowsky). 3. Aufl.

302 • • • Electronic-Pianos und Synthesizer (Tünker).

304 • • • Transistor-Schaltverstärker (Sabrowsky). 2. Aufl.

307 • • • Elektronische Schranken und Wächter (Sabrowsky). 2. Aufl.

310 • • • Thyristor-Schalter und -Regler für den Heim- und Werkstattgebrauch (Sabrowsky). 2. Aufl.

313 • • • Elektronische Hilfsgeräte für Heim- und Werkstatt (Sabrowsky).

315 • • • Digitale Experimentier-Bausteine (Sabrowsky).

319 • • • Der leichte Start zum Funkfernsteuern (Sabrowsky). 2. Aufl.

322 • • • Impulstechnik für jedermann (Sabrowsky).

325 • • • Sinus-, Rechteck- und Impulsgeneratoren für Prüf- und Meßzwecke (Sabrowsky).

328 • • • Integrierte Nf-Elektronik (Sabrowsky).

331 • • • • Verstärkerbau mit integrierten Schaltungen (Wirsum). 2. Aufl.

335 • • • Mischpulte und Mischpultmodule (Wirsum). 2. Aufl.

336 • • • Musikelektronik (Tünker). 2. Aufl.

337 • • • Elektronische Hilfsmittel für Film und Foto (Horst).

338 • • Experimente mit IS (Kleemann).

339 • • • HiFi-Boxen im Selbstbau (Sabrowsky). 2. Auflage.

340 • • • Vom Flip-Flop zur Quarzuhr (Pelka).

341 • • Modelleisenbahn-Elektronik im Selbstbau (Jungmann).

Kühne, Mikrofone

9. Auflage

11

Dreifachband

RPB

Welches Mikrofon ist gut? Die Antwort auf diese Frage gibt der vorliegende Band. In einer leichtverständlichen Darstellung erklärt der Autor zunächst die Eigenschaften, geht dann in das Detail der einzelnen Mikrofonarten über, beschreibt die technischen Besonderheiten und weist auf die verschiedensten Betriebsbedingungen hin. Dabei streut er immer wieder aus seinem reichen Erfahrungsschatz Schliche und Kniffe ein, die sich bei der Anwendung vorteilhaft auswirken. So werden die vielfältigen Anschlußarten erklärt und wie man die „Höreigenschaften" der Mikrofone richtig ausnutzt. Selbstverständlich werden auch die Spezialtypen erörtert und der Selbstbau einiger sehr brauchbarer Ausführungen beschrieben.

Der Autor: Fritz Kühne schrieb seine erste Bauanleitung als Vierzehnjähriger. Sie kam überraschend gut an. So schrieb er während seiner Schul- und Studienzeit, später als Toningenieur, als Mitarbeiter in einem Forschungsinstitut immer wieder über Elektroakustik. Eine ganze Reihe RPB-Bände sind aus seinem Wissen und seiner Erfahrung entstanden und waren sehr erfolgreich.

FRANZIS

ISBN 3-7723-0119-3